

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

(подпись)
«___» _____ 202_ г.

ОХРАНА ТРУДА И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Направленности (профили) подготовки: «Электроснабжение»,
«Электроэнергетические системы и сети», «Цифровые технологии в
электроэнергетике», «Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем»
квалификация выпускника «бакалавр»
очная, заочная, очно-заочная формы обучения

«СОГЛАСОВАНО»

«РАЗРАБОТАНО»

Зав. выпускающей кафедрой АЭСиЭ
Кононов Ю.Г. _____
«___» _____ 20__ г.

Зав. кафедрой АЭСиЭ
Кононов Ю.Г. _____
«___» _____ 20__ г.

Декан факультета нефтегазовой
инженерии
Верисокин А.Е. _____
«___» _____ 20__ г.

Ст. препод. кафедры АЭСиЭ
Мартусенко В.Е. _____
«___» _____ 20__ г.

Рассмотрено УМК ФНИ
«___» _____ 20__ г.
Протокол № _____
Председатель УМК

Рекомендовано к размещению на
образовательном портале СКФУ
«___» _____ 20__ г.

Ставрополь, 2026

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Мартусенко В.Е.

ОХРАНА ТРУДА И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Направленности (профили) подготовки: «Электроснабжение»,
«Электроэнергетические системы и сети», «Цифровые технологии в
электроэнергетике», «Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем», квалификация выпускника «бакалавр»

Ставрополь

2026

Печатается по решению
Учебно-методического совета
Северо-Кавказского федерального
университета
УДК
ББК

Рецензенты:

Мартусенко В.Е. Охрана труда и электробезопасность: лабораторный практикум — Ставрополь, 2026

Лабораторный практикум предназначен для студентов направления подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» направленности (профили) подготовки: «Электроснабжение», «Электроэнергетические системы и сети», «Цифровые технологии в электроэнергетике», «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», квалификация выпускника «бакалавр».

В лабораторном практикуме приводятся теоретические сведения и методика проведения лабораторных по дисциплине «Охрана труда и электробезопасность», индивидуальные задания для выполнения этих работ по темам: защитные меры в электроустановках, основы электробезопасности, действие электрического тока на организм человека.

©ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 2026

Содержание

Предисловие.....	6
Указания по технике безопасности.....	10
Перечень аппаратуры, используемой в экспериментах.....	14
Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра.....	15
Лабораторная работа № 1 Исследование сопротивления петли фаза-ноль на базе LabVIEW	16
Лабораторная работа № 2 Исследование заземления и одиночных заземлителей на базе LabVIEW	28
Лабораторная работа № 3 Анализ электробезопасности сетей типа IT и TN-C на базе LabVIEW	44
Лабораторная работа № 4 Определение электрического сопротивления тела человека на базе LabVIEW	63
Лабораторная работа № 5 Действие электрического тока на организм человека	77
Лабораторная работа № 6 Меры защиты человека от поражения электрическим током (часть 1)	91
Лабораторная работа № 7 Меры защиты человека от поражения электрическим током (часть 2)	118
Лабораторная работа № 8 Натурное моделирование зануления электрооборудования	128
Лабораторная работа № 9 Натурное моделирование защитного заземления / самозаземления электрооборудования.....	134
Лабораторная работа № 10 Натурное моделирование защитного отключения электрической сети.....	147
Лабораторная работа № 11 Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN - С при заземленных корпусах электроприемников	154
Лабораторная работа № 12 Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN - С при изолированных от земли корпусах электроприемников	166
Лабораторная работа № 13 Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN - S	175
Лабораторная работа № 14 Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN - C - S	186

Лабораторная работа № 15 Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления ТТ	196
Лабораторная работа № 16 Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления IT	205
Лабораторная работа № 17 Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TI	217
Лабораторная работа № 18 Определение влияния режима электрической сети и ее нейтрали на условия электробезопасности.....	225
Лабораторная работа № 19 Определение зависимостей, характеризующих явления при стекании тока через защитный заземлитель	234
Лабораторная работа № 20 Определение зависимостей, характеризующих электрическое сопротивление тела человека	247
Лабораторная работа № 21 Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью.....	253
Лабораторная работа № 22 Измерение сопротивления заземления.....	258
Литература	264
Приложение А.....	267
Приложение Б	270

Предисловие

Одной из основных дисциплин, на которых базируются курсы направлений подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», направленностей (профилей) подготовки: «Электроснабжение», «Электроэнергетические системы и сети», «Цифровые технологии в электроэнергетике», «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», является дисциплина «Охрана труда и электробезопасность».

«Охрана труда и электробезопасность» - относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Б1.В.11, в которой соединена тематика безопасного взаимодействия человека со средой обитания (производственной, бытовой, городской, природной) и вопросы защиты от негативных факторов электрического тока. Изучением дисциплины достигается формирование у специалистов представления о неразрывном единстве эффективной профессиональной деятельности с требованиями к безопасности и защищенности человека. Реализация этих требований гарантирует сохранение работоспособности и здоровья человека, готовит его к действиям в экстремальных условиях.

Знания, умения и навыки, полученные студентами при изучении данной дисциплины, используются при выполнении выпускной квалификационной работы, а также представляют собой значительную долю знаний, умений и навыков, необходимых выпускникам в профессиональной научной деятельности.

Для освоения дисциплины поставлены следующие **задачи**:

- формирование у студента теоретической базы и практических навыков в области охраны труда и электробезопасности систем электроснабжения;
- получение знаний по разработке и реализации мер защиты человека в области охраны труда и электробезопасности;

- в выработке у студентов умений и навыков повышения электробезопасности повседневным улучшением условий труда, совершенствованием мер и средств защиты персонала и других лиц, занимающихся эксплуатацией электроустановок;

- формирование у студентов систематических знаний фундаментальных принципов и создания комфортного (нормативного) состояния среды обитания в зонах трудовой деятельности и отдыха человека;

- получение знаний по разработке и реализации мер защиты человека и среды обитания от негативных воздействий;

- развитие навыков в принятии решений по защите производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий и применения современных средств поражения, а также принятия мер по ликвидации их последствий.

Дисциплина «Охрана труда и электробезопасность» призвана стать теоретической основой для выработки у студентов умений и навыков повышения электробезопасности повседневным улучшением условий труда, совершенствованием мер и средств защиты персонала и других лиц, занимающихся эксплуатацией электроустановок.

Она относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Б1.В.11 и ее освоение происходит в 7 и 8 семестрах.

Лабораторные занятия проводятся в специализированных лабораториях и аудиториях. Занятия обеспечиваются необходимым наглядным материалом, стендами и приборами. Количество студентов в подгруппе составляет 10-14 человек. В ходе учебного занятия студенты проходят входное тестирование (собеседование), самостоятельно и при участии преподавателя выполняют лабораторные работы, отчитываются за проделанную на занятии учебную работу.

Работа студентов на занятиях оценивается в рамках балльно-рейтинговой системы оценки образовательной деятельности студентов.

Для решения задач образовательного процесса разработан учебно-профессиональный (методический) комплекс, включающий в себя ряд элементов: федеральный образовательный стандарт, рабочая учебная программа, методические разработки для студентов и преподавателей по каждому практическому занятию, экзаменационные материалы, тексты лекций, перечень информационного и материального обеспечения образовательного процесса.

Для достижения планируемых результатов обучения, в дисциплине «Охрана труда и электробезопасность» используются различные образовательные технологии:

Информационно-развивающие технологии, направленные на формирование системы знаний, запоминание и свободное оперирование ими. Используется лекционно-семинарский метод, самостоятельное изучение литературы, применение новых информационных технологий для самостоятельного пополнения знаний, включая использование технических и электронных средств информации.

Деятельностные практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений при проведении экспериментальных исследований, обеспечивающих возможность качественно выполнять профессиональную деятельность. Используется анализ, сравнение методов проведения исследований, выбор метода, в зависимости от объекта исследования в конкретной производственной ситуации и его практическая реализация.

Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие проблемного мышления, мыслительной активности, способности видеть и формулировать проблемы, выбирать способы и средства для их решения. Используются виды проблемного обучения: освещение основных проблем на лекциях, учебные дискуссии, коллективная деятельность в группах при выполнении лабораторных работ, решение задач повышенной сложности. При этом используются первые три

уровня (из четырех) сложности и самостоятельности: проблемное изложение учебного материала преподавателем; создание преподавателем проблемных ситуаций, а обучаемые вместе с ним включаются в их разрешение; преподаватель создает проблемную ситуацию, а разрешают её обучаемые в ходе самостоятельной деятельности.

Личностно-ориентированные технологии обучения, обеспечивающие в ходе учебного процесса учет различных способностей обучаемых, создание необходимых условий для развития их индивидуальных способностей, развитие активности личности в учебном процессе. Личностно-ориентированные технологии обучения реализуются в результате индивидуального общения преподавателя и студента при защите лабораторных работ, при выполнении домашних индивидуальных заданий, решении задач повышенной сложности, на еженедельных консультациях.

Для реализации самостоятельной работы созданы следующие условия и предпосылки:

1. Студенты обеспечены информационными ресурсами (учебниками, справочникам, учебными пособиями, банком индивидуальных заданий);
2. Студенты обеспечены информационными ресурсами (методические указания выдаются заранее в электронном виде).
3. Разработаны контролирующие материалы в тестовой форме, позволяющие оперативно оценить уровень подготовки студентов.
4. Организованы еженедельные консультации (также для отработки пропущенных занятий).

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

13.03.02	
Цикл, в рамках которого изучается	Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Б1.В.11
семестр	7-8 семестр
Количество зачетных единиц	6 з.е.
Реализуемые компетенции	УК-8; ПК-3; ПК-5

Указания по технике безопасности

Часть лабораторных работ проводится на персональном компьютере (ПК) с установленным на нем необходимым программным обеспечением.

Во время работы студент обязан:

- выполнять только лабораторную работу в соответствии с методическими указаниями;
- содержать в порядке и чистоте рабочее место в течение всего занятия;
- корректно закрыть все активные задачи при необходимости прекращения работы на относительно короткое время;
- выполнять санитарно-гигиенические требования;
- соблюдать расстояние от глаз до экрана в пределах 60 - 80 см.

Во время работы студенту запрещается:

- касаться одновременно экрана монитора и клавиатуры;
- прикасаться к задней панели системного блока и монитора ПК при включенном питании;
- переключать разъемы интерфейсных кабелей периферийных устройств при включенном питании;
- загромождать верхние панели устройств бумагами и посторонними предметами, препятствующими вентиляции;
- захламлять рабочее место бумагой и другими предметами во избежание накопления пыли;
- производить отключение-включение питания без необходимости;
- допускать попадание влаги на поверхность системного блока, монитора, клавиатуры, дисководов, принтеров и других устройств;
- включать ПК со снятыми кожухами системного блока, монитора, принтера и др.;
- оставлять ПК во включенном состоянии без наблюдения.

Для лабораторных работ, выполняемых на специализированных стендах, рекомендуется следовать следующим указаниям по технике безопасности:

1. Перед началом работы все студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности и расписаться в книге инструктажа, которая находится в лаборатории.

2. Ознакомиться с теоретической частью методических описаний лабораторных работ, с инструкцией стендов и электрической схемой.

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

4. Для обеспечения полной безопасности стенд должен быть исправен. Если замечена какая-либо неисправность, работу следует немедленно прекратить и о неисправности доложить преподавателю.

5. Подготовьте стенд к работе и измерениям, соберите схему. Пригласите преподавателя для получения допуска к работе.

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

7. Первые измерения проводите только в присутствии преподавателя.

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

9. Соблюдайте тишину и порядок в лаборатории.

10. Продолжительность всех лабораторных работ по дисциплине «Охрана труда и электробезопасность» составляет 2 часа.

В настоящих методических указаниях описаны базовые эксперименты, выполняемые на комплекте типового лабораторного оборудования «Основы электробезопасности». В ходе их воспроизводится работа устройств, обеспечивающих безопасность электроустановок, с одновременной регистрацией параметров электромагнитных процессов в них.

Комплект типового лабораторного оборудования предназначен для проведения лабораторных работ по специальностям «Безопасность технологических процессов и производств (по отраслям)» и другим инженерным специальностям.

Аппаратная часть комплекта выполнена по блочному (модульному) принципу и содержит:

- спроектированные с учебными целями натуральные аналоги элементов электрической системы;
- источники питания;
- измерительные преобразователи и приборы;
- составной лабораторный стол с встроенными контейнерами для хранения проводников и методических материалов, рамами для установки необходимых в эксперименте функциональных блоков.

Питание комплекта осуществляется от трехфазной электрической сети напряжением 380 В с нейтральным и защитным проводниками.

Потребляемая мощность В·А, не более..... 200

Габариты (длина/ ширина/ высота), ...мм 3650x900x1600

Масса, кг, не более..... 200

Комплекту типового лабораторного оборудования «Основы электробезопасности» присущи следующие качества.

УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ, которая выражается в возможности воспроизведения не только базовых экспериментов, но и более широкого круга задач моделирования.

ГИБКОСТЬ, которая обеспечивается возможностью компоновки требуемой конфигурации комплекта сообразно с задачами каждого

конкретного эксперимента.

НАГЛЯДНОСТЬ результатов моделирования, которая обеспечивается их отображением на измерительных приборах комплекта.

НАДЕЖНОСТЬ, достигаемая за счет малой мощности силовых элементов, защитой электрических цепей от эксплуатационных коротких замыканий и неумелого обращения.

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ, которая обеспечена выполнением элементов классом защиты от поражения электрическим током 01 и I, а также применением устройства защитного отключения.

КОМПАКТНОСТЬ, которая обеспечена малой установленной мощностью элементов и использованием только требуемых для данного эксперимента блоков и приборов.

СОВРЕМЕННЫЙ ДИЗАЙН комплекта с учетом требований эргономики, инженерной психологии и эстетики.

На комплекте может активно работать бригада из 2-3 студентов.

Перечень аппаратуры, используемой в экспериментах

Количество аппаратуры определённого типа, используемой в конкретных экспериментах, приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Тип аппаратуры используемой в конкретных экспериментах

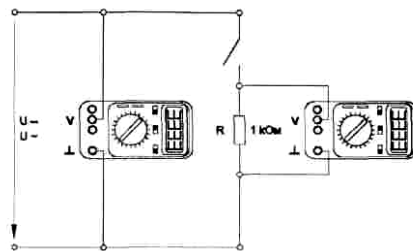
Тип аппаратуры	Номер эксперимента							
	1	2	3	4	5	6	7	8
201.12	1	1		1	1	1	1	1
337	1	1		1	1	1	1	1
302	1	1		1	1	1	1	1
303	1				1		1	1
309	1							1
310	1			1				
311					1			
312						1		
316					1			
321								1
325		1						
326		1						
327		1						
328							1	
329				1				
341			1					
508.2	1	1		1	1	1	1	1

Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра

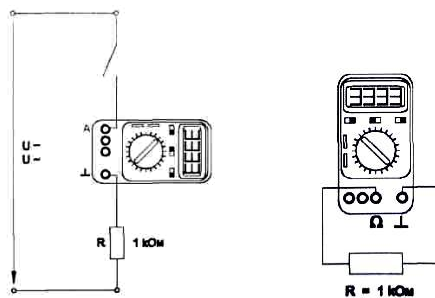
Для измерения трех базовых электрических величин (напряжения, тока и омического сопротивления) используется мультиметр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

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

Присоединение мультиметра как вольтметра



Присоединение мультиметра как амперметра



Присоединение мультиметра как омметра

Лабораторная работа № 1

Исследование сопротивления петли фаза-нуль на базе LabVIEW

Цель и содержание работы

Исследование опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и другим металлическим нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением относительно земли вследствие замыкания на корпус.

Теоретическое обоснование

Поражения электрическим током, вызванные прикосновением к конструкциям или корпусам, оказавшимся под напряжением вследствие повреждения изоляции, предотвращаются путем защитного заземления. Назначение защитного заземления заключается в создании между металлическими конструкциями, или корпусом защитного устройства и землей, электрического соединения с достаточно малым сопротивлением. В цеховых сетях промышленных предприятий напряжением 380/220 В с заземленной нейтралью трансформатора цеховой подстанции применяется схема заземления, при которой заземляющие проводники соединены с заземленной нейтралью (зануление).

Возникает вопрос, возможно ли обеспечить условия безопасности в сети с заземленной нейтралью при выполнении простого заземления электроприемников, а не зануление их. Пусть в схеме на рисунке 1.1 нулевого защитного проводника нет, и его роль выполняет земля. Нейтраль заземлена через R_0 , а электроприемник АД имеет отдельное защитное заземление с сопротивлением R_3 .

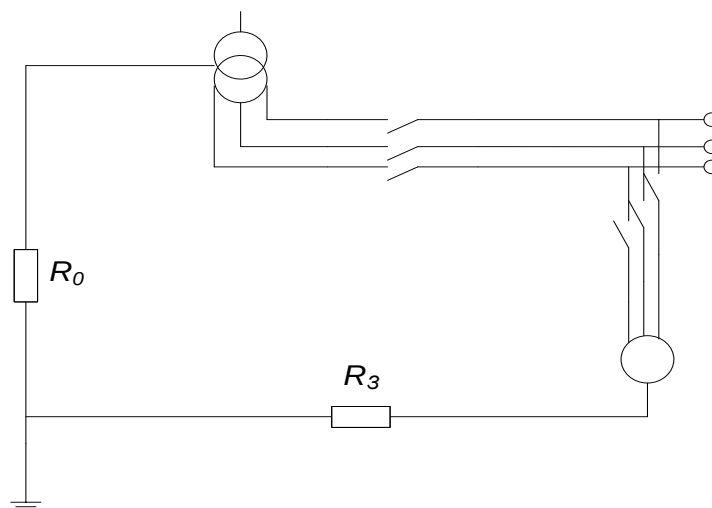


Рисунок 1.1 – Схема петля фаза – нуль

При замыкании фазы на корпус этого электроприемника ток замыкания, будучи ограничен сопротивлениями заземлений электроприемника и нейтрали, может оказаться недостаточным для отключения автоматического выключателя. Если же отключения не последует, то действующее в цепях замыкания фазное напряжение 220 В распределится между сопротивлениями R_3 и R_0 прямо пропорционально их величине. Так как фактически невозможно разделять сеть заземления электроприемников, расположенных вблизи трансформатора, от заземляющего устройства нейтрали, то это напряжение возникает одновременно на всех заземленных корпусах электрооборудования. Осуществление заземления с малым сопротивлением практически невозможно. Остается один способ: соединить корпус электроприемника с заземленной нейтралью трансформатора, т.е. зануление.

Занулением называется преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Зануление применяется в четырехпроводных сетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью. Зануление превращает замыкание на корпус в однофазное короткое замыкание, в результате чего срабатывает токовая защита, и поврежденный участок цепи отключается. Кроме того, зануление снижает потенциалы корпусов, появляющиеся в момент замыкания на землю. Зануление создает

при всяком замыкании на зануленные части замкнутую металлическую цепь короткого замыкания, не зависящую от R_0 и R_3 , ток в которой определяется как

$$I_3 = \frac{U_\phi}{Z_{\phi H}} \quad (1.1)$$

где U_ϕ – фазное напряжение,

$Z_{\phi H}$ – полное сопротивление цепи замыкания (петля фаза-нуль).

Напряжение корпуса относительно земли

$$U_3 = I_3 \cdot R_{\Pi}, \quad (1.2)$$

где R_{Π} – сопротивление повторного заземления нулевого провода.

Осуществление зануления играет решающую роль в четком срабатывании защитной аппаратуры.

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. Опасность электрического тока в отличие от прочих опасностей усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно, как раскаленные объекты, открытые люки. Опасность обнаруживается слишком поздно, когда человек уже поражен. Проходя через живые ткани, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействия. Это приводит к различным нарушениям в организме.

Виды поражения человека электрическим током

Следует выделить два вида поражений электрическим током: электрический удар и местные электрические травмы, которые резко отличаются друг от друга. Местными электрическими травмами являются поражения тканей и органов электрическим током. Это такие как ожоги, электрические знаки, электрометаллизации кожи, механические повреждения и электроофтальмия.

Электрический ожог возможен при прохождении через тело человека

значительных токов (более 1 А). В тканях, через которые проходит ток, как и в любом сопротивлении, выделяется некоторое количество теплоты, пропорциональное приложенному напряжению и току. Этой теплоты, при больших токах, достаточно для нагрева поражаемых тканей до температуры 60-70 градусов, при которой свертывается белок и возникает ожог. Такие ожоги проникают глубоко в ткани тела и поэтому очень болезненны, и требуют длительного лечения, а иногда приводят к частичной, или полной инвалидности. В электроустановках напряжением 35 кВ и выше ожоги могут возникать и без непосредственного контакта с токоведущими частями, а лишь при случайном приближении на опасное расстояние. Когда это расстояние меньше или равно разрядному, возникает сначала искровой разряд, который переходит в электрическую дугу. Температура дуги достигает 4000 градусов, кроме того, ткани тела человека нагреваются проходящим через него током. Это приводит к ожогу. Под действием тока происходит резкое сокращение мышц, которое приводит к разрыву дуги. Поскольку ток проходил через тело человека кратковременно, нарушений дыхания и кровообращения может не наступить, однако полученные ожоги весьма серьезны, а иногда и смертельны.

Электрические знаки возникают при хорошем контакте с токоведущими частями. Они представляют собой припухлость с затвердевшей кожей серого цвета. Последствия электрического знака могут быть серьезными.

Защитные меры в электроустановках

Если номинальное напряжение электроустановки не превышает длительно допустимого напряжения прикосновения, то контакт человека с токоведущими частями разных фаз будет безопасен. Безопасным напряжением является 6–10 В, т.к. ток через человека не превысит 1–1,5 А. В производственных переносных электроприемниках применяются напряжения 12, 36 и 42 В. Применение малых напряжений – эффективная защитная мера, но ее широкому распространению мешает трудность осуществления протяженной сети малого напряжения. К защитным мерам в электроустановках относятся также электрическое разделение сетей, контроль

и профилактика повреждений изоляции, и защита от случайных прикосновений, защита от опасности при переходе напряжения с высшей стороны на низкую, защитное заземление, защитное зануление, защитное отключение.

Защитное заземление

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. В электрических аппаратах металлические нетоковедущие части могут оказаться под напряжением при замыкании их токоведущих частей на корпус. Если корпус не заземлен, то прикосновение к нему также опасно, как и прикосновение к фазе. Если же корпус заземлен, он окажется под напряжением равным

$$U_3 = I_3 \cdot R_3. \quad (1.3)$$

Человек, касающийся этого корпуса, попадает под напряжение прикосновения

$$U_{ПП} = U_3 \cdot a_1 \cdot a_2, \quad (1.4)$$

где a_1 – коэффициент напряжения прикосновения,

a_2 – коэффициент, учитывающий падение напряжения в дополнительных сопротивлениях цепи человека:

$$a_2 = \frac{R_h}{(R_h + R_{об} + R_H)} = \frac{R_h}{R_{ch}}, \quad (1.5)$$

где R_{ch} – полное сопротивление цепи человека,

R_H – сопротивление опорной поверхности ног растеканию тока или сопротивление пола,

$R_{об}$ – сопротивление обуви,

R_h – сопротивление человека.

Ток через человека при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением, определяется из выражения:

$$I_h = \frac{U_{\text{ип}}}{R_h}, \quad (1.6)$$

или

$$I_h = \frac{I_3 \cdot R_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2}{R_h} \quad (1.7)$$

Из этого выражения видно, что чем меньше R_3 и α_1 , тем меньше ток через человека, стоящего на земле и касающегося корпуса оборудования, находящегося под напряжением. Таким образом, безопасность обеспечивается путем заземления корпуса заземлителем, имеющим малое сопротивление заземления R_3 и малый коэффициент напряжения прикосновения α_1 .

Защитное зануление

Занулением называется преднамеренное электрическое соединение с нулевым защитным проводником металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением. Нулевым защитным проводником называется проводник, соединяющий зануляемые части с глухо заземленной нейтральной точкой обмотки источника тока или ее эквивалентом. При замыкании на зануленный корпус, ток короткого замыкания определяется по формуле:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U}{\frac{Z_{\text{Т}}}{3} + Z_{\Phi} + Z_{\text{Н}}}. \quad (1.8)$$

Сопротивление петли фаза-нуль равна:

$$Z_{\text{П}} = Z_{\Phi} + Z_{\text{Н}}. \quad (1.9)$$

Из этого следует, что ток короткого замыкания равен:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U}{\frac{Z_{\text{Т}}}{3} + Z_{\text{П}}}. \quad (1.10)$$

Сопротивление петли фаза-нуль

Полное сопротивление петли фаза-нуль состоит из активных и реактивных сопротивлений:

1. Питающего трансформатора и других последовательно включенных в цепь аппаратов;

2. Фазного провода сети;
3. Нулевого провода;
4. Сопротивлений в месте замыкания, в контактах аппаратов и других частей сети.

Полное сопротивление фазного и нулевого проводов сети зависит от:

- а) схемы соединений обмоток трансформатора Y/Y или Y/Y_0 ;
- б) конструктивного выполнения сети в целом;
- в) от взаимного расположения фазного и нулевого проводов;
- г) от наличия в цепи иных токопроводящих частей, соединенных с системой зануления и снижающих ее сопротивление.

Расчет тока однофазного замыкания в петле фаза-нуль производят по формуле:

$$I_{K3} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\Pi} + \frac{Z_{1T} + Z_{2T} + Z_{0T}}{3}}, \quad (1.11)$$

где $Z_{\Pi} = Z_{\phi} + Z_H$;

U_{ϕ} – фазное напряжение сети;

Z_{1T} , Z_{2T} , Z_{0T} – полные сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательности обмотки трансформатора;

Z_{Π} – полное сопротивление части петли фаза-нуль без учета сопротивления трансформатора;

Z_{ϕ} – полное сопротивление одной фазы линии.

В развернутом виде это уравнение имеет вид:

$$I_{K3} = \frac{U_{\phi}}{R_{\Pi} + jX_{\Pi} + \frac{2R_T + R_{0T} + 2jX_T + jX_{0T}}{3}}, \quad (1.12)$$

где R_T – активное сопротивление прямой (обратной) последовательности трансформатора;

R_{0T} – активное сопротивление нулевой последовательности трансформатора;

X_T – реактивное сопротивление прямой (обратной) последовательности

трансформатора;

X_{0T} – реактивное сопротивление нулевой последовательности трансформатора.

По этой формуле, вычисляя сопротивление петли фаза-нуль, не трудно найти ток однофазного замыкания на корпус в сетях с заземленной нейтралью, питающихся от трансформаторов со схемой соединения Y/Y или Y/Y₀.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на виртуальном лабораторном стенде LabVIEW, лицевая панель которого представлена на рисунке 1.2.

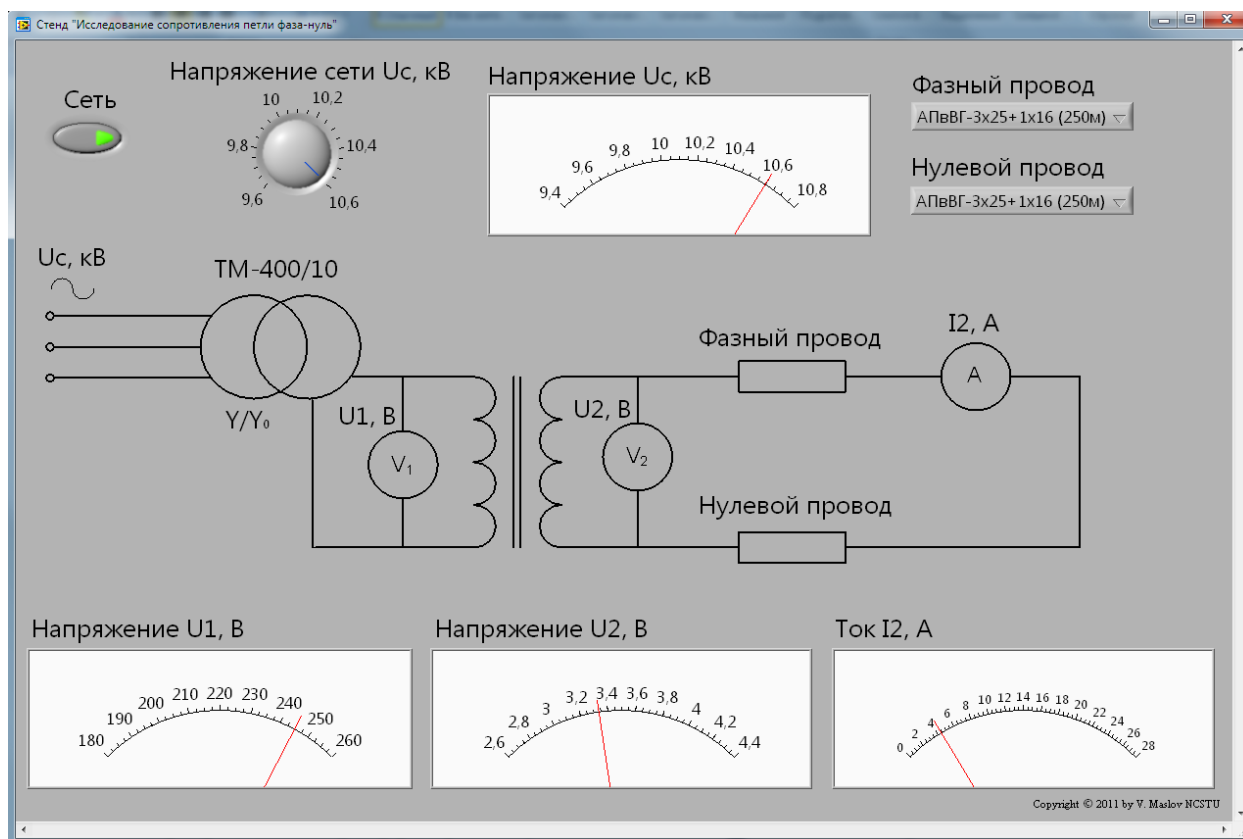


Рисунок 1.2 – Лицевая панель лабораторного стенда для исследования сопротивления петли фаза-нуль

Лампочка кнопки «Сеть» изменяет цвет на зеленый при включении питания сети. Измерение тока в петле фаза-нуль I_2 производится миллиамперметром «Ток I_2 , А». Вольтметры «Напряжение U_C , кВ»,

«Напряжение U_1 , В» и «Напряжение U_2 , В» показывают напряжения на первичных и вторичных сторонах трансформаторов. Регулирование напряжения в сети производится регулятором «Напряжение сети U_C , кВ». Выбор исследуемых проводников для фазного и нулевого проводов осуществляется с помощью выпадающих списков меню «Фазный провод» и «Нулевой провод». Схема исследуемой сети представлена на лицевой панели стенда.

В качестве фазного и нулевого проводников петли фаза-нуль используются жилы следующих кабелей и проводов:

- а) медный кабель ПвВГ;
- б) алюминиевый кабель АПвВГ;
- в) медный провод ПР;
- г) алюминиевый провод АПР;
- д) стальной уголок 40х40.

Методика и порядок выполнения работы

1. Включить стенд кнопкой «Сеть» и регулятором «Напряжение сети U_C , кВ» выставить значение напряжения сети в соответствии с вариантом по таблице 1.2.

2. Найти величины сопротивлений петли фаза-нуль Z_{Π} в соответствии с таблицей 1.1 и результаты занести в таблицу, фиксируя одновременно падение напряжения на участке проводника U_2 , напряжение на первичной обмотке однофазного трансформатора U_1 и величину тока в петле фаза-нуль I_2 .

3. Определить величину тока однофазного замыкания на землю для каждого значения сопротивления петли фаза-нуль и заданной мощности питающего трехфазного трансформатора (по указанию преподавателя) по выражению (1.10). Расчетные сопротивления трансформаторов $Z_T/3$ приведены в таблице 1.2 в соответствии с вариантом.

4. Построить зависимости Z_{Π} от величины тока замыкания при

использовании в качестве нулевого провода стального уголка для случаев, когда в качестве фазного провода используются: алюминиевый кабель, медный кабель, алюминиевый провод, медный провод.

5. Написать выводы по работе.

Таблица 1.1 – Результаты измерений сопротивления петли фаза-ноль

п/п	Фаза	Ноль	Измеряемая величина				
			U_1 , В	U_2 , В	I_2 , А	Z_{Π} , Ом	I_{K3} , А
1	АПВГ–3х25+	1х16					
2	АПВГ–3х35+	1х16					
3	АПВГ–3х50+	1х25					
4	АПВГ–3х70+	1х35					
5	ПВГ–3х25+	1х16					
6	ПВГ–3х35+	1х16					
7	ПВГ–3х50+	1х25					
8	АПР–1х25	АПР–1х25					
9	АПР–1х35	АПР–1х35					
10	АПР–1х50	АПР–1х50					
11	АПР–1х70	АПР–1х70					
12	ПР–1х25	ПР–1х25					
13	ПР–1х35	ПР–1х35					
14	ПР–1х50	ПР–1х50					
15	ПР–1х70	ПР–1х70					
16	АПВГ–3х25+	Уголок 40х40					
17	АПВГ–3х35+	Уголок 40х40					
18	АПВГ–3х50+	Уголок 40х40					
19	АПВГ–3х70+	Уголок 40х40					
20	ПВГ–3х25+	Уголок 40х40					
21	ПВГ–3х35+	Уголок 40х40					
22	ПВГ–3х50+	Уголок 40х40					
23	АПР–1х25	Уголок 40х40					
24	АПР–1х35	Уголок 40х40					
25	АПР–1х50	Уголок 40х40					
26	АПР–1х70	Уголок 40х40					
27	ПР–1х25	Уголок 40х40					
28	ПР–1х35	Уголок 40х40					
29	ПР–1х50	Уголок 40х40					
30	ПР–1х70	Уголок 40х40					

Таблица 1.2 – Варианты индивидуальных заданий для выполнения лабораторной работы

№ варианта	Напряжение сети U_C , кВ	Мощность трансформатора, кВ·А	Сопротивление $Z_T/3$, Ом, при соединении обмоток	
			звезда - звезда с выведенным нулем	треугольник - звезда с выведенным нулем
1	9,6	100	0,259	
2	9,7	160	0,162	
3	9,8	250	0,104	
4	9,9	400	0,065	
5	10,0	630	0,043	
6	10,1	1000	0,027	
7	10,2	1600	0,018	
8	10,3	100		0,0754
9	10,4	160		0,047
10	10,5	250		0,030
11	10,6	400		0,019
12	9,6	630		0,014
13	10,0	1000		0,009
14	10,4	1600		0,0055

Содержание отчета и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Схему сети для исследования сопротивления петли фаза-нуль.
3. Таблицу 1.2 с результатами измерений.
4. Графики зависимостей Z_{Π} от величины тока замыкания при использовании в качестве нулевого провода стального уголка для случаев, когда в качестве фазного провода используются: алюминиевый кабель, медный кабель, алюминиевый провод, медный провод.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета в форме устного опроса.

1. Из чего состоит полное сопротивление петли фаза-нуль?
2. Назначение защитного заземления.
3. Что такое защитное зануление?
4. От чего зависит полное сопротивление фазного и нулевого проводов?
5. Какие защитные меры в электроустановках вы знаете?
6. Какие виды поражения электрическим током бывают?
7. Что такое электрические знаки?
8. Какие поражения электрическим током можно отнести к местным электрическим травмам?
9. Что такое защитное заземление?
10. Возможен ли электрический ожог без непосредственного контакта с токоведущими частями?

Лабораторная работа № 2

Исследование заземления и одиночных заземлителей на базе LabVIEW

Цель и содержание работы

Ознакомиться с методами измерения сопротивления заземлений и удельного сопротивления грунта, а также с методами измерения распределения потенциалов вокруг испытываемого заземлителя.

Теоретическое обоснование

Стекание тока в землю происходит через проводник, находящийся в непосредственном контакте с землей. Такой контакт может быть случайным или преднамеренным. В последнем случае проводник или группа проводников, находящихся в контакте с землей, называется заземлителем.

Каждый отдельный проводник, находящийся в контакте с землей, называется одиночным заземлителем или электродом. Если заземлитель состоит из нескольких электродов, соединенных между собой параллельно, то он называется групповым или сложным заземлителем.

Причинами стекания тока в землю является замыкание токоведущей части на заземленной части оборудования, падение провода на землю, использование земли в качестве провода и т. п. Во всех этих случаях происходит резкое снижение потенциала заземлившейся токоведущей части до значения, равного произведению тока, стекающего в землю, на сопротивление, которое этот ток встречает на своем пути, называемое сопротивлением заземлителя растеканию тока или просто сопротивлением растеканию:

$$\varphi = I \cdot R. \quad (2.1)$$

Сопротивление R состоит из трех частей: сопротивления самого заземлителя, переходного сопротивления между заземлителем и землей,

сопротивления земли. Две первые части по сравнению с третьей весьма малы, поэтому под сопротивлением заземлителя растеканию тока понимают сопротивление земли растеканию тока.

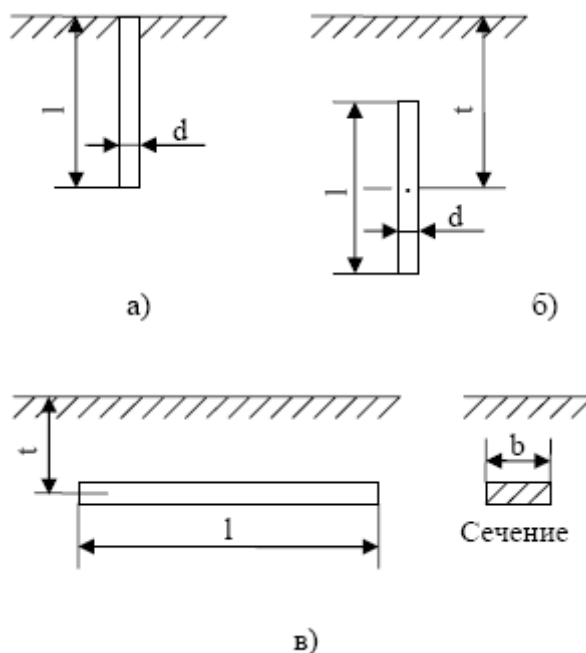


Рисунок 2.1 – Типы одиночных заземлителей (электродов):

а – стержневой вертикальный у поверхности земли; б – стержневой вертикальный заглубленный; в – полосовой горизонтальный

Поскольку плотность тока в земле на расстоянии больше 20 м от заземлителя весьма мала, можно считать, что сопротивление стекающему с заземлителя току оказывает лишь соответствующий объем земли, например, при одиночном полусферовом заземлителе это полусфера радиусом 20 м. Однако при разных формах и размерах заземлителя сопротивление этого объема грунта различно. Так, для стержневого электрода (труба), забитого в землю вертикально (рисунок 2.1, а), сопротивление растеканию может быть определено по формуле (Ом):

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4l}{d}, \quad (2.2)$$

где l и d – длина и диаметр стержня, м;

ρ – удельное сопротивление земли, Ом·м.

Для наиболее часто применяемых электродов – вертикального стержневого, верхний конец которого заглублен в землю (рисунок 2.1, б), и горизонтального полосового, уложенного на некоторой глубине параллельно поверхности земли (рисунок 2.1, в), сопротивления растеканию определяются формулами (Ом):

- для вертикального

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right), \quad (2.3)$$

где t – заглубление электрода, т. е. расстояние от поверхности земли до середины электрода, м;

- для горизонтального

$$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2l^2}{bt}, \quad (2.4)$$

где l и b – длина и ширина полосы, м;

t – заглубление полосы, м.

Из уравнений (2.2), (2.3), (2.4) видно, что сопротивление заземлителя растеканию тока R зависит от его геометрических размеров и удельного сопротивления земли ρ . Для протяженных электродов, каковыми, в частности, являются заземлители, изображенные на рисунке 2.1, сопротивление растеканию практически обратно пропорционально их длине, а для электродов шаровой, круглой (диск), кольцевой и т. п. форм R обратно пропорционально их диаметру; другие размеры электродов влияют на R в значительно меньшей степени.

Удельное сопротивление земли ρ (Ом·м) – сопротивление куба грунта с ребром длиной 1 м. Значение ρ земли колеблется в широких пределах – от десятков Ом на метр до десятков тысяч Ом на метр, так как оно зависит от многих факторов: от влажности грунта, температуры, рода грунта, степени его уплотненности, а также от времени года.

Абсолютно сухой грунт весьма плохой проводник тока. Малейшее увлажнение резко снижает его сопротивление. При низкой температуре – ниже

нуля градусов – земля обладает очень большим сопротивлением. Поэтому в районах вечной мерзлоты качественное заземление, т. е. с малым сопротивлением, выполнить очень трудно.

Грунты разного рода при одних и тех же условиях имеют разные удельные сопротивления. Хорошо проводит ток и долго удерживает влагу глина, поэтому в глинистой почве качественное заземление выполнить легче, чем в других грунтах, стоимость его меньше и работает это заземление надежнее и дольше. Песок плохо проводит ток и практически не удерживает влагу. Поэтому в песчаном грунте заземление работает плохо, т. е. сопротивление его может резко возрасти при незначительных изменениях погодных условий. Чернозем и другие почвы занимают примерно среднее положение между глиной и песком.

Уплотненность, т. е. утрамбованность, грунта также влияет на его удельное сопротивление: чем плотнее грунт, тем меньше ρ .

Времена года влияют на сопротивление земли, поскольку атмосферные условия, изменяющиеся в течение года, изменяют содержание влаги в грунте, его температуру, количество растворенных в нем солей и др. Уменьшение удельного сопротивления происходит, как правило, в весенние и осенние месяцы года, когда дожди и тающий снег резко увеличивают содержание влаги в почве.

Увеличение удельного сопротивления происходит зимой и летом: зимой вследствие замерзания, а летом вследствие испарения влаги, причем более высокие значения ρ наблюдаются зимой. Наибольшему влиянию атмосферных условий подвержены верхние слои земли, которые зимой промерзают, весной и осенью раньше других слоев насыщаются влагой, а летом раньше прогреваются и высыхают. Более глубокие слои земли обладают более стабильным сопротивлением. Поэтому заземлители, глубоко погруженные в землю, например вертикальные стержневые, выполняют свою задачу лучше, чем горизонтальные полосовые, прокладываемые обычно вблизи поверхности земли. При проектировании заземляющих устройств необходимо в качестве

расчетного брать наибольшее возможное в течение года значение удельного сопротивления грунта $\rho_{РАСЧ}$, т. е. ориентироваться на худший случай. Однако измерение ρ в самое неблагоприятное время и при наиболее неблагоприятной погоде встречает в практике серьезные затруднения.

Поэтому эти измерения производятся, как правило, в теплое время года (май-октябрь) и измеренное удельное сопротивление $\rho_{ИЗМ}$ умножается на коэффициент сезонности ψ , учитывающий возможное повышение сопротивления в течение года и состояние (увлажненность) земли во время измерений. В итоге получается расчетное значение удельного сопротивления для однородной земли (Ом·м):

$$\rho_{РАСЧ} = \rho_{ИЗМ} \cdot \psi \quad (2.5)$$

Коэффициент сезонности ψ зависит от климатических условий данной местности, а также от формы, размеров и размещения в земле электродов. Признаки климатических зон указаны в таблице 2.1, а значения коэффициента ψ для однородной земли – в таблице 2.2.

Измеренное удельное сопротивление однородной земли определяется методом разового (или глубокого) зондирования с помощью контрольного зонда в два этапа.

Вначале контрольный зонд – стержневой электрод в виде сплошного стержня или трубы диаметром $d = 4-5$ см с острым наконечником – погружается в землю вертикально до глубины 1 (м) предполагаемого заложения заземлителей так, чтобы верхний его конец возвышался над землей, и замеряется его сопротивление растеканию $R_{ИЗМ}$ (Ом). Затем, пользуясь выражением (2.2), вычисляют искомое измеренное удельное сопротивление земли (Ом·м)

$$\rho_{ИЗМ} = R_{ИЗМ} \frac{2\pi \cdot l}{\ln\left(\frac{4 \cdot l}{d}\right)} \quad (2.6)$$

Для большей точности измерений контрольный зонд погружают в землю не менее чем в трех-четырех местах исследуемой площадки и определяют

среднее значение $\rho_{изм}$. Определять ρ земли путем измерения сопротивления образца грунта не разрешается, поскольку этот способ дает большую ошибку, так как при этом не учитывается разнородность слоев земли на разных глубинах и в разных местах и потому, что у извлеченного образца плотность и структура обычно иные, чем в реальном грунте.

Таблица 2.1 – Признаки климатических зон для определения коэффициентов сезонности ψ

Характеристика климатической зоны	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	-20..-15	-1..-10	-10..0	0..+5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	+16..+18	+18..+22	+22..+24	+24..+26
Среднегодовое количество осадков, см	около 40	около 50	около 50	30-50
Продолжительность заморозания вод, дни	190..170	около 150	около 100	0

Таблица 2.2 – Коэффициенты сезонности ψ для однородной земли

Зона по таблице 2.1	состояние земли во время измерения ее сопротивления		
	повышенной влажности	нормальной влажности	малой влажности
вертикальный электрод длиной 3 м			
I	1.9	1.7	1.5
II	1.7	1.5	1.3
III	1.5	1.3	1.2
IV	1.3	1.1	1.0
горизонтальный электрод длиной 10 м			
I	9.3	5.5	4.1
II	5.9	3.5	2.6
III	4.2	2.5	2.0
IV	2.5	1.5	1.1

Примечания: 1. Земля считается повышенной влажности, если измерению ее сопротивления предшествовало выпадение большого количества (свыше нормы) осадков (дождей); нормальной (средней) влажности – если измерению предшествовало выпадение небольшого количества (близкое к норме) осадков; малой влажности – если земля сухая, количество осадков в предшествующий измерению период ниже нормы.

2. Заглубление электродов, т. е. расстояние от поверхности земли до верхнего конца вертикального электрода и до горизонтального электрода, равно 0,7-0,8 м. При проектировании заземляющего устройства необходимо знать ρ грунта в том месте, где будет сооружаться заземление. Пользоваться для этой цели данными таблиц нельзя, так как в них приводятся ориентировочные значения ρ , которые могут отличаться от истинных в десятки и сотни раз.

Метод измерения сопротивления заземлений

Явление стекания тока в землю, весьма благоприятное по условиям безопасности, используют как меру защиты от поражения током при случайном проявлении напряжения на металлических нетоковедущих частях, которые с этой целью заземляются. В процессе эксплуатации не исключена возможность повышения сопротивления растеканию тока заземлителя сверх расчетного и нарушения целостности заземляющей проводки. Тогда заземляющее устройство теряет способность обеспечивать безопасность людей во время замыкания фазы на корпус, поскольку при этом возможно значительное увеличение потенциала заземлителя, а следовательно, и напряжения прикосновения и шага. Чтобы исключить указанные опасности, необходимы тщательный надзор за состоянием элементов защитного заземления и периодическое измерение сопротивления заземляющего устройства.

Создать реальные условия для испытания заземлений практически невозможно. Поэтому через заземление пропускают измерительный ток относительно небольшой величины, что при соблюдении ряда требований дает результаты испытаний, мало отличающихся от того, что имеет место при аварии. Для прохождения измерительного тока через заземление необходимо иметь замкнутую цепь, поэтому кроме испытываемого заземления "X", необходимо иметь вспомогательный заземляющий агрегат "ВЭ". Во всех случаях для определения величины R_x необходим второй вспомогательный электрод, называемый потенциальным зондом "З" (рисунок 2.2), который располагают в точке с нулевым потенциалом или в той точке, потенциал которой необходимо определить.

Для измерения R_x зонд "З" должен находиться в зоне нулевого потенциала и может располагаться либо между испытываемым заземлением "Х" и вспомогательным электродом "ВЭ", либо в другую сторону от "Х" или в стороне от линии, соединяющей "Х" и "ВЭ".

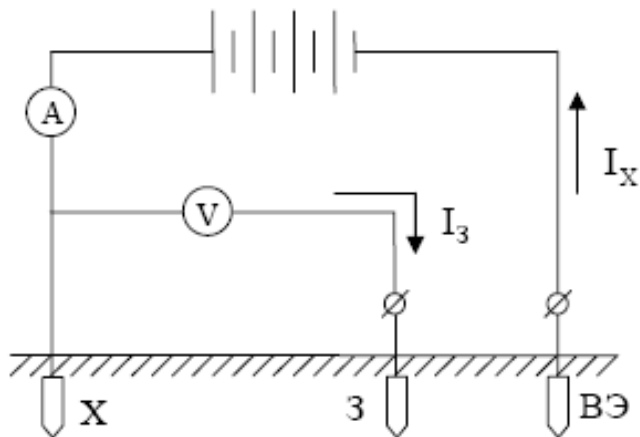


Рисунок 2.2 – Схема измерения сопротивления заземления по методу ампер-метра-вольтметра

Расстояние между "Х", "ВЭ" и "З" имеет вполне определенную величину, обеспечивающую допустимую погрешность измерений (рисунок 2.3).

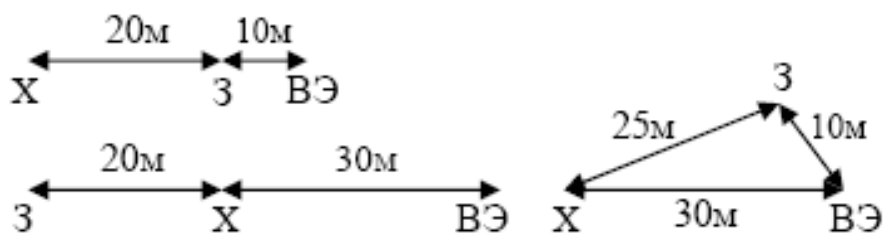


Рисунок 2.3 – Величины нормативных расстояний между испытываемым заземлением "Х", потенциальным зондом "З" и вспомогательным заземляющим агрегатом "ВЭ"

Для производства и испытания заземляющих устройств в практике нашли применение различные приборы и методы: мостовой, компенсационный и метод амперметра-вольтметра. Сущность последнего метода заключается в том, что с помощью амперметра измеряется ток,

проходящий через испытываемый заземлитель в землю, а с помощью вольтметра – потенциал этого заземлителя (рисунок 2.2). В результате получаем искомое сопротивление растеканию заземлителя, Ом,

$$R_X = \frac{\phi_X}{I_X} \quad (2.7)$$

Определение удельного сопротивления грунта

Свойство грунта как проводника электрического тока оценивается его электрическим удельным сопротивлением. Значение величины удельного сопротивления грунта в том месте, где предполагается выполнить заземление, является необходимым для правильного проектирования заземляющих устройств. Измерение удельного сопротивления грунта производится в условиях, близких к реальным, что позволяет оценить величину удельного сопротивления по методу контрольного электрода и методом четырех электродов (рисунок 2.4).

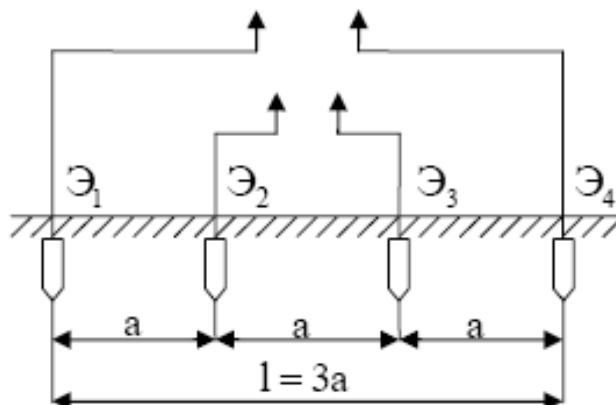


Рисунок 2.4 – Схема измерения удельного сопротивления грунта по методу четырех электродов

При измерении удельного сопротивления грунта на исследуемой площадке в грунт забивается четыре стержня по прямой линии на расстоянии друг от друга, равное a . Крайние стержни (питающие) присоединяют к зажимам амперметра, а внутренние (измерительные) к зажимам вольтметра. В этом случае с помощью показаний амперметра и вольтметра можно определить величину сопротивления между двумя внутренними стержнями в

(Ом), а удельное сопротивление грунта вычисляется по данным измерений по формуле:

$$\rho = \frac{U_{\text{Э2Э3}}}{I_{\text{Э1Э4}}} \frac{\pi \cdot (l^2 - a^2)}{4a} = R_{\text{Э}} \frac{\pi \cdot (l^2 - a^2)}{4a} = 2\pi \cdot a \cdot R_{\text{Э}}, \quad (2.8)$$

где a – расстояние между соседними электродами, см;

l – расстояние между крайними электродами, см.

Измерение распределения потенциалов вокруг заземлителей

Характер распределения потенциалов заземлителей при прохождении тока в значительной мере предопределяет защитное заземление. По кривой распределения потенциалов можно оценить величины напряжения прикосновения U_{np} и шагового напряжения. Характер кривой распределения потенциалов вокруг заземлителей зависит от форм заземляющих электродов, от глубины их заложения и почти не зависит от удельного сопротивления грунта и величины тока, проходящего через заземлители. Потенциалы на поверхности земли могут измеряться при помощи вольтметра, или с помощью измерителей заземления и мостов.

Определение распределения потенциалов при помощи вольтметра

В схеме на рисунке 2.5, а вольтметр включен между испытываемым заземлителем "X" и зондом "З", потенциал которого U_1 равен

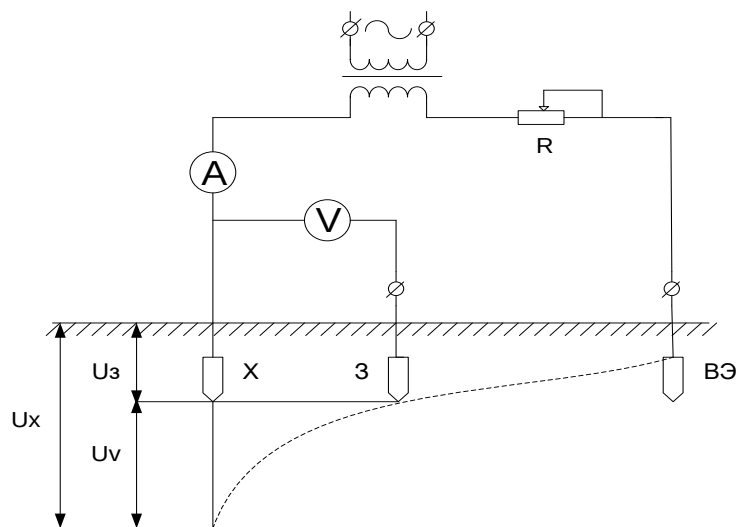
$$U_1 = U_x - U_v, \quad (2.9)$$

где U_x – полный потенциал испытываемого заземлителя при измеренном токе, для определения величины которого "З" помещают в зону нулевого потенциала, U_v – напряжение, которое покажет вольтметр. Отсюда в процентном отношении получим

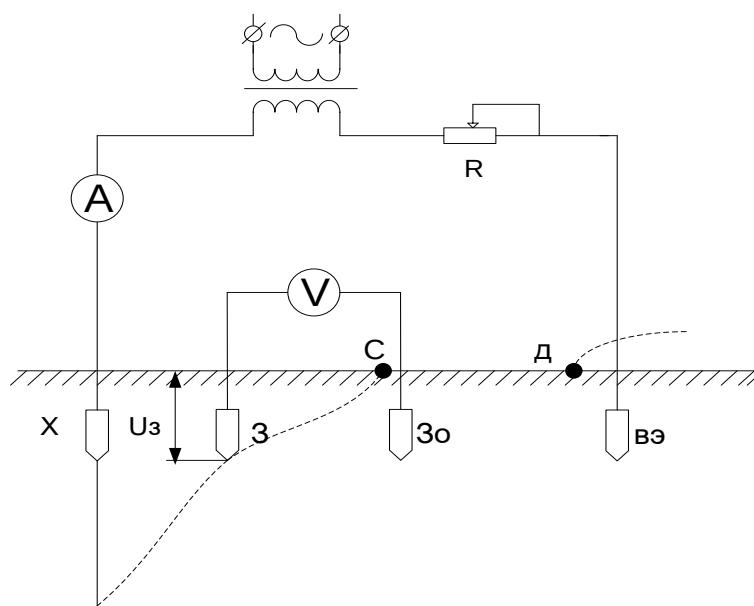
$$U_1 \% = \frac{U_1}{U_x} \cdot 100 = \frac{U_x - U_v}{U_x} \cdot 100 = \left(1 - \frac{U_v}{U_x}\right) \cdot 100 \quad (2.10)$$

Для того чтобы измерить потенциалы исследуемых точек непосредственно вольтметром (без вычислений), необходимо, кроме перечисленного зонда "З", иметь неподвижный зонд "З₀", расположенный в точке с нулевым потенциалом на участке С-Д (рисунок 2.5, б).

Вольтметр по этой схеме включается между зондами "З" и "З_о", и показание его равно потенциалу исследуемой точки земли. При измерении желательно пользоваться электронным вольтметром, в противном случае в результат должна вводиться относительная погрешность.



а)



б)

Рисунок 2.5 – Схемы измерения распределения потенциалов вокруг испытываемого заземлителя:

а – вычисление потенциалов производится с использованием формулы (2.9); б – потенциалы измеряются вольтметром

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на виртуальном лабораторном стенде LabVIEW.

На стенде проводятся 3 опыта:

1. Измерение сопротивления испытываемого заземления методом амперметра-вольтметра (рисунок 2.6);
2. Измерение удельного сопротивления грунта по методу четырех электродов (рисунок 2.7);
3. Измерение распределение потенциалов на поверхности вокруг испытываемого заземлителя (рисунок 2.8).

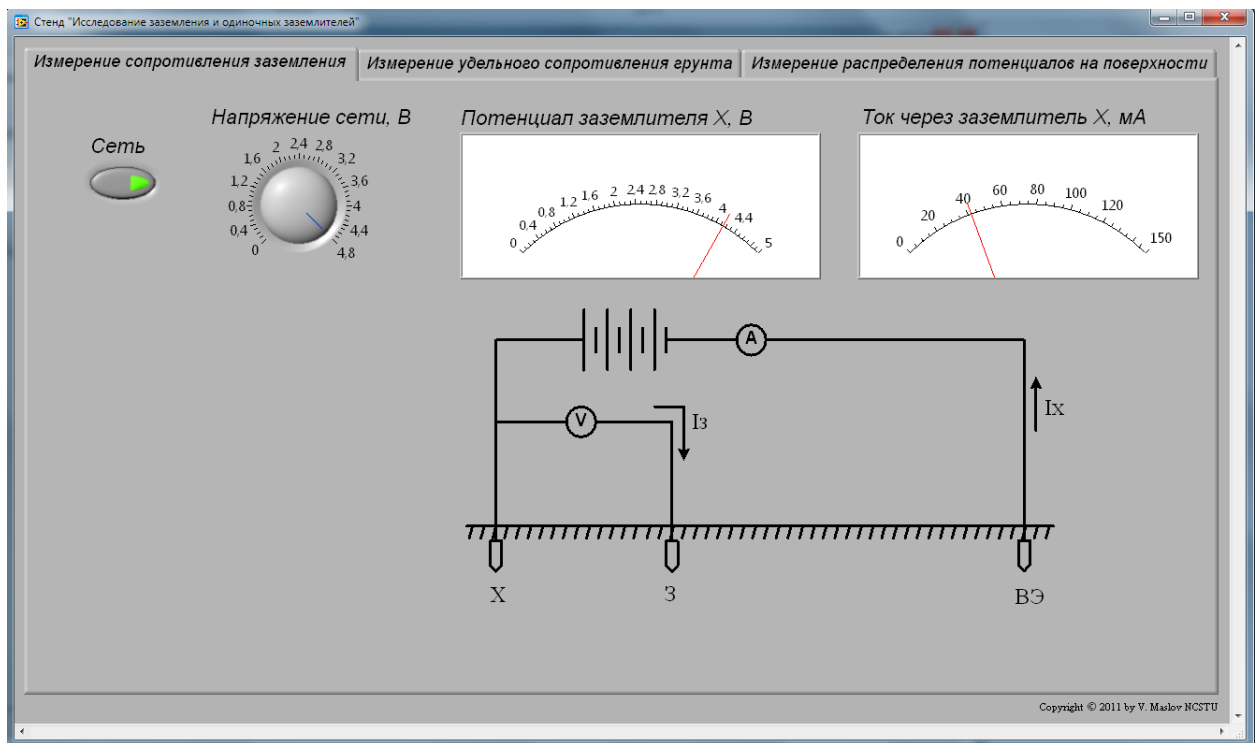


Рисунок 2.6 – Лицевая панель лабораторного стенда для измерения сопротивления заземления

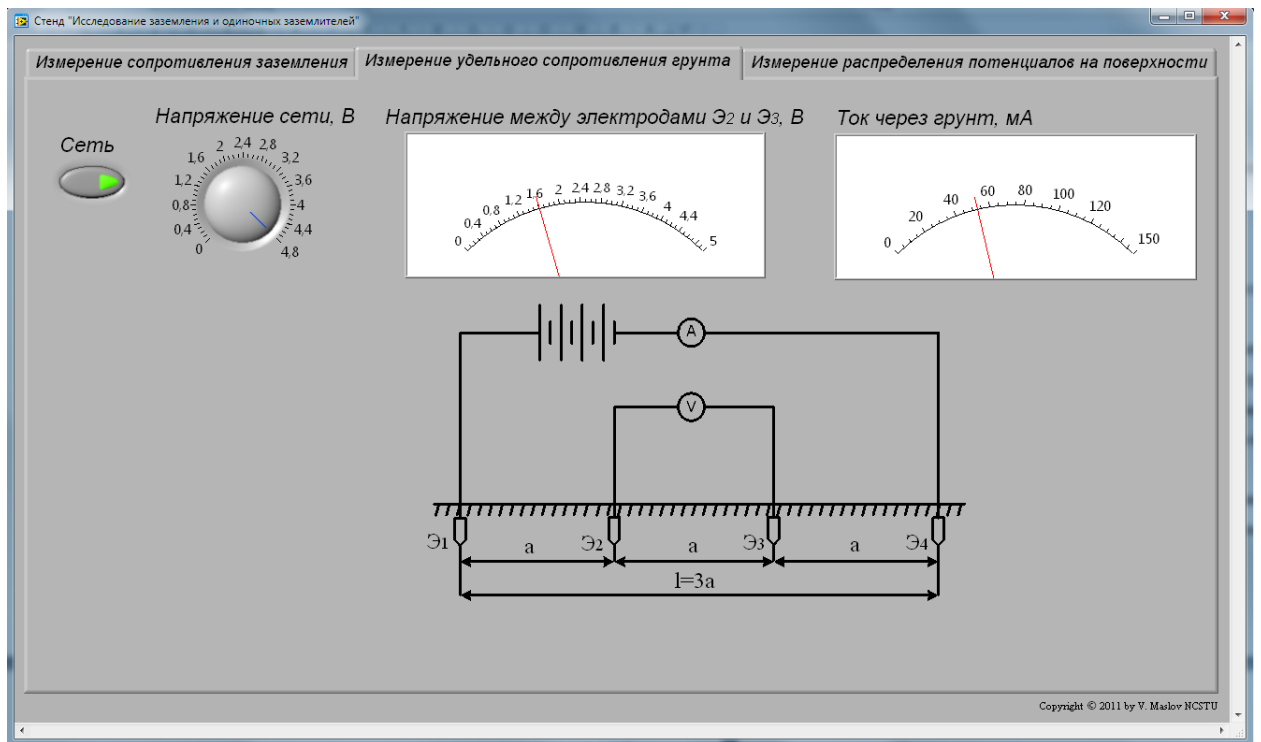


Рисунок 2.7 – Лицевая панель лабораторного стенда для измерения удельного сопротивления грунта

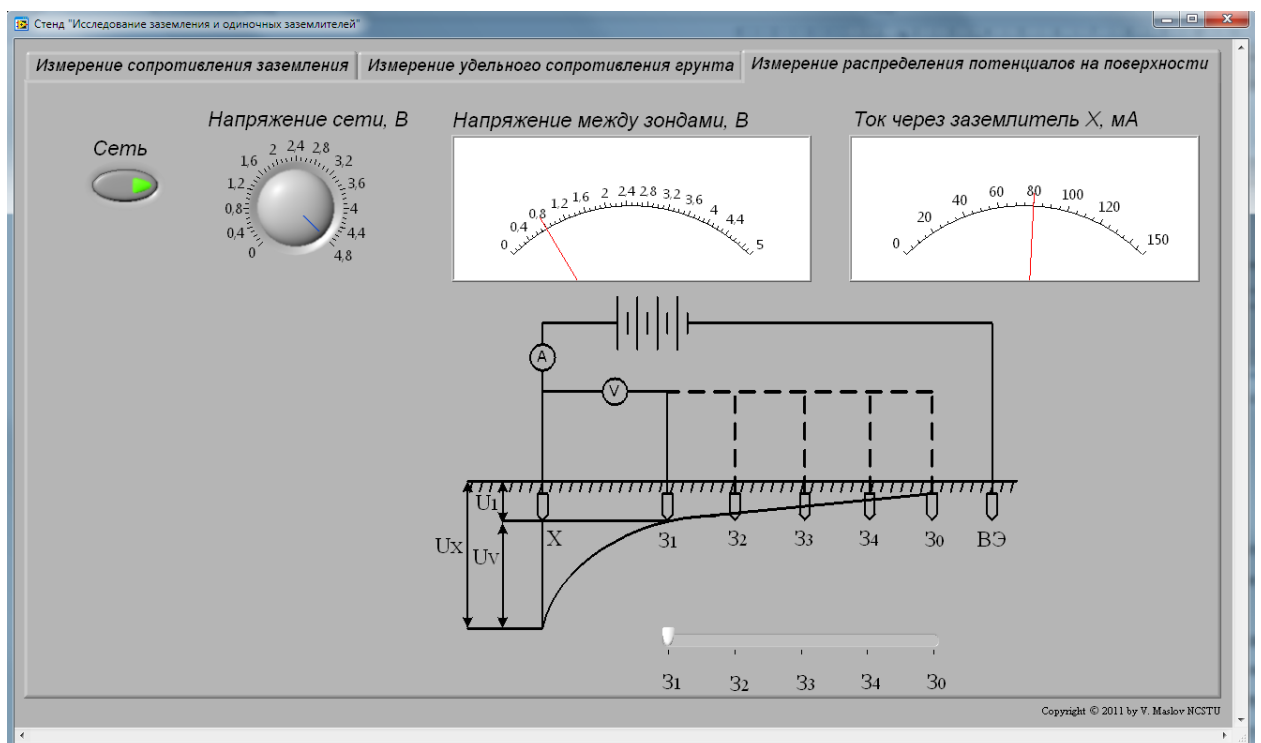


Рисунок 2.8 – Лицевая панель лабораторного стенда для измерения распределения потенциалов на поверхности

Включение стенда выполняется кнопкой «Сеть», лампочка которой изменяет цвет на зеленый при включении питания сети. Измерение тока через заземлитель производится миллиамперметром «Ток через заземлитель X , мА», а тока через грунт – миллиамперметром «Ток через заземлитель X , мА». Вольтметры «Потенциал заземлителя X , В», «Напряжение между электродами $\mathcal{E}_2$ и $\mathcal{E}_3$, В» и «Напряжение между зондами, В» показывают потенциал на исследуемом заземлителе и напряжения между заземлителя соответственно. Регулирование напряжения в сети производится регулятором «Напряжение сети, В». Выбор точки замера потенциала на поверхности земли в последнем опыте осуществляется с помощью селективного ползунка путем его переключения в требуемое положение.

Методика и порядок выполнения работы

1. Перейти на лицевую панель первого опыта, включить стенд кнопкой «Сеть» и регулятором «Напряжение сети, В» выставить значение напряжения сети в соответствии с вариантом по таблице 2.3.
2. Снять показания приборов и с помощью формулы (2.7) вычислить сопротивление исследуемого заземлителя.
3. Переключиться на лицевую панель второго опыта, включить стенд кнопкой «Сеть» и регулятором «Напряжение сети, В» выставить значение напряжения сети с вариантом по таблице 2.3.
4. Снять показания приборов и по формуле (2.8) вычислить удельное сопротивление исследуемого грунта. Расстояния между соседними электродами a взять в соответствии с вариантом по таблице 2.3.
5. Выбрать закладку лицевой панели третьего опыта, включить стенд кнопкой «Сеть» и регулятором «Напряжение сети, В» выставить значение напряжения сети в соответствии с вариантом по таблице 2.3.
6. Снять показания вольтметра и произвести вычисления по выражению (2.10) для всех исследуемых точек поверхности, и построить график

распределения потенциалов на поверхности $U_1\%(3)$, где 3 – номер зонда (зонду с нулевым потенциалом 3_0 присвоить номер 5).

Таблица 2.3 – Варианты индивидуальных заданий для выполнения лабораторной работы

№ варианта	Напряжение сети U_C , В	Расстояние между соседними электродами a , см
1	0,4	10
2	0,8	15
3	1,2	20
4	1,6	25
5	2,0	30
6	2,4	35
7	2,8	40
8	3,2	45
9	3,6	50
10	4,0	55
11	4,4	60
12	4,8	65

Содержание отчета и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Схему измерения сопротивления заземления по методу амперметра-вольтметра.
3. Результаты измерения и вычисления по формуле (2.7).
4. Схему измерения удельного сопротивления грунта.
5. Результаты измерения и вычисления по формуле (2.8).
6. Схему измерения распределения потенциалов вокруг испытываемого заземлителя.

7. Результаты измерений и вычислений по формуле (2.10), а также график распределения потенциалов на поверхности.

8. Выводы по работе.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета в форме устного опроса.

1. Что называют заземлителем?
2. Что такое сопротивление растеканию тока?
3. Причины стекания тока в землю.
4. Из чего состоит сопротивление растеканию тока?
5. Какие типы заземляющих устройств вы знаете?
6. От чего зависит коэффициент сезонности грунта?
7. Для чего проводятся испытания заземлений?
8. Какие методы измерения сопротивления заземлений вы знаете?
9. От каких параметров и каким образом зависит удельное сопротивление грунта?
10. Для чего необходимо знать значение удельного сопротивления грунта?
11. Как проводятся измерения удельного сопротивления грунта?
12. Для чего исследуется распределение потенциалов вокруг исследуемого заземлителя?

Лабораторная работа № 3

Анализ электробезопасности сетей типа IT и TN-C на базе LabVIEW

Цель и содержание работы

Целью данной работы является оценка опасности однофазного прикосновения человека к фазным проводам электрических сетей типа *IT* и *TN-C* напряжением до 1 кВ в зависимости от активного сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли, режима работы сети.

Теоретическое обоснование

Система *IT*

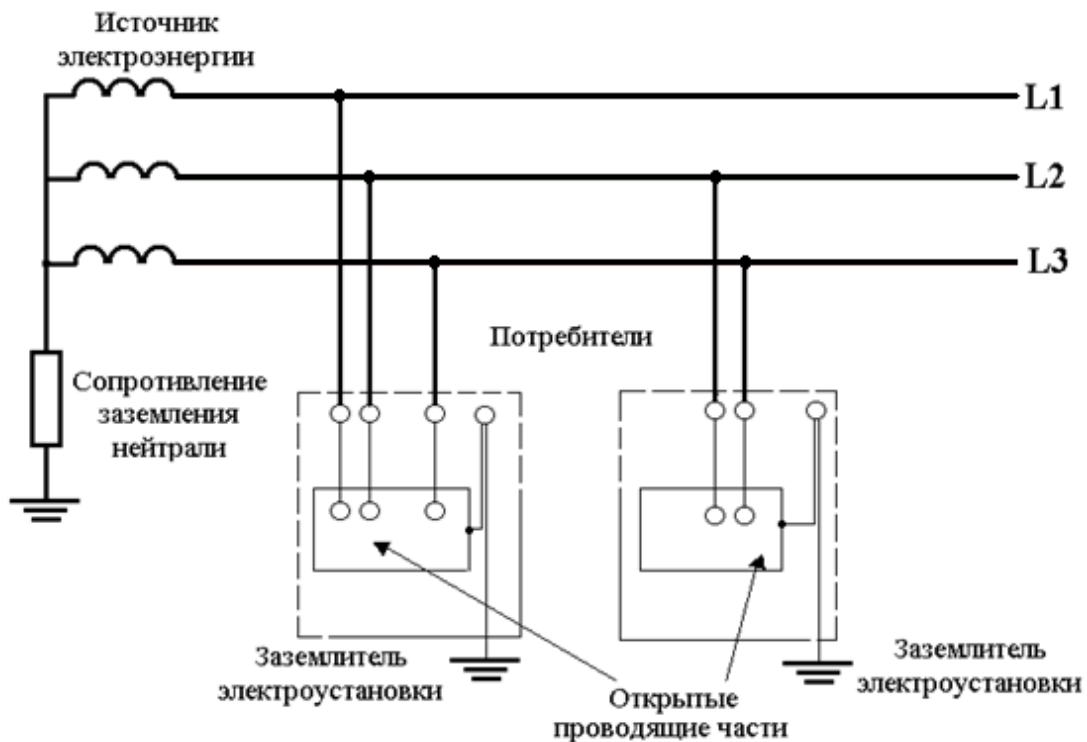


Рисунок 3.1 – Система *IT*

Система *IT* – система, в которой нейтраль источника электроэнергии изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющее

The diagram shows a three-phase system. At the top, a transformer with three windings is connected to three horizontal lines labeled L1, L2, and L3. The voltage across the transformer is labeled U . On the left, a generator symbol (a circle) is connected to line L3 and a common ground. The current flowing out of the generator is labeled $\dot{I}_h$. Three vertical branches represent loads connected to lines L1, L2, and L3 respectively, all sharing a common ground. The currents flowing into these loads are labeled $\dot{I}_{L1}$, $\dot{I}_{L2}$, and $\dot{I}_{L3}$. The admittances of these loads are labeled Y_{L1} , Y_{L2} , and Y_{L3} .

$$\dot{I}_h = U \cdot G_h \frac{\underline{Y}_{L2} \cdot (1 - a^2) + \underline{Y}_{L3} \cdot (1 - a)}{\underline{Y}_{L1} + \underline{Y}_{L2} + \underline{Y}_{L3} + G_h}, \quad (3.1)$$

45

$$\dot{U}_h = U \cdot \frac{\underline{Y}_{L2} \cdot (1-a^2) + \underline{Y}_{L3} \cdot (1-a)}{\underline{Y}_{L1} + \underline{Y}_{L2} + \underline{Y}_{L3} + G_h}, \quad (3.2)$$

где $\underline{Y}_{L1}$, $\underline{Y}_{L2}$, $\underline{Y}_{L3}$ – полные проводимости изоляции фазных проводов относительно земли в комплексной форме:

$$\underline{Y}_{L1} = \frac{1}{R_{L1}} + j\omega C_{L1}; \quad \underline{Y}_{L2} = \frac{1}{R_{L2}} + j\omega C_{L2}; \quad \underline{Y}_{L3} = \frac{1}{R_{L3}} + j\omega C_{L3}; \quad (3.3)$$

где U – действующее значение фазного напряжения сети;

$G_h = 1/R_h$ – проводимость тела человека;

ω – фазный оператор трехфазной системы, учитывающий сдвиг фаз.

При равенстве проводимостей фазных проводов относительно земли $\underline{Y}_{L1} = \underline{Y}_{L2} = \underline{Y}_{L3} = \underline{Y}$ (т.е. при равенстве сопротивлений изоляции и емкостей фазных проводов относительно земли $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R$ и $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C$) ток через тело человека и напряжение прикосновения определяется:

$$\dot{I}_h = U \cdot G_h \frac{3\underline{Y}}{3\underline{Y} + G_h} \quad (3.4)$$

или

$$\dot{I}_h = \frac{U}{R_h + \underline{Z}/3}, \quad (3.5)$$

где $\underline{Z}$ – полное сопротивление фазного провода относительно земли в комплексной форме:

$$\underline{Z} = \frac{1}{\underline{Y}} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C}, \quad (3.6)$$

где R – активное сопротивление изоляции фазного провода относительно земли;

C – емкость фазного провода относительно земли.

В действительной форме этот ток равен:

$$I_h = \frac{U}{R_h} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R \cdot (R + 6 \cdot R_h)}{9 \cdot R_h^2 \cdot (1 + R^2 \cdot \omega^2 \cdot C^2)}}}. \quad (3.7)$$

При равенстве сопротивлений изоляции фазных проводов относительно земли $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R$ и отсутствии емкостей, т.е. $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C = 0$,

выражение упрощается

$$I_h = \frac{U}{R_h + R/3}. \quad (3.8)$$

Таким образом, в сетях с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы опасность для человека при прямом однофазном прикосновении зависит от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли. С увеличением сопротивления изоляции и уменьшении емкости фазных проводов относительно земли опасность уменьшается. Этот вывод иллюстрируется графиками зависимости $I_h = f(R)$ при $C = 0$ (что может иметь место в коротких сетях) и $I_h = f(C)$ при $R = \text{const}$, представленными на рисунке 3.3.

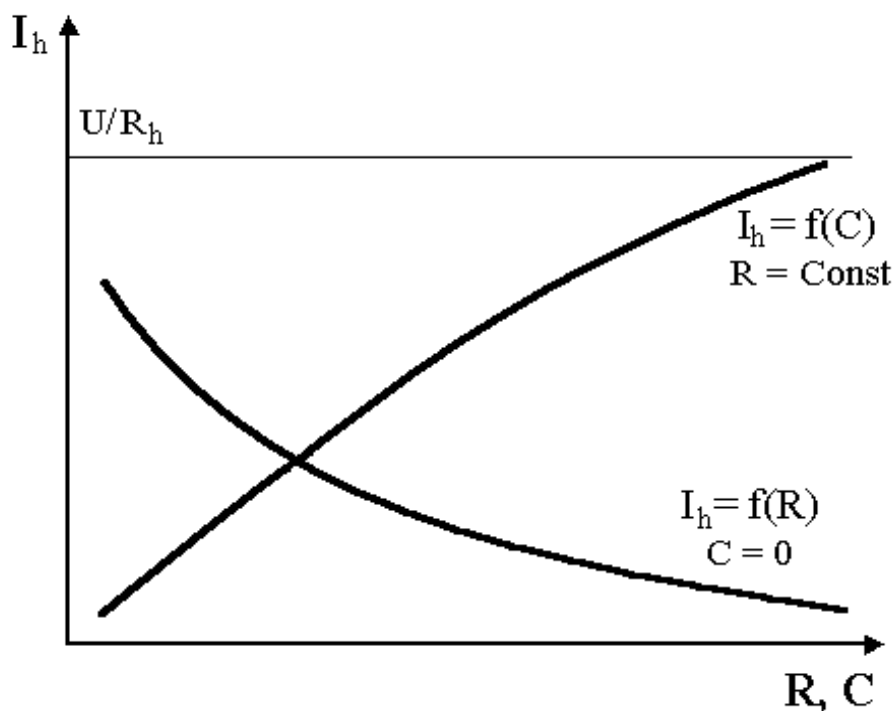


Рисунок 3.3 – Зависимость значения тока, протекающего через тело человека, прикоснувшегося к фазному проводу в сети IT с симметричными параметрами в нормальном режиме работы, от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли

При аварийном режиме работы сети (рисунок 3.4), когда один из фазных проводов, например провод L_2 , замкнулся на землю, опасность поражения

током человека, прикоснувшегося к исправному фазному проводу, значительно возрастает.

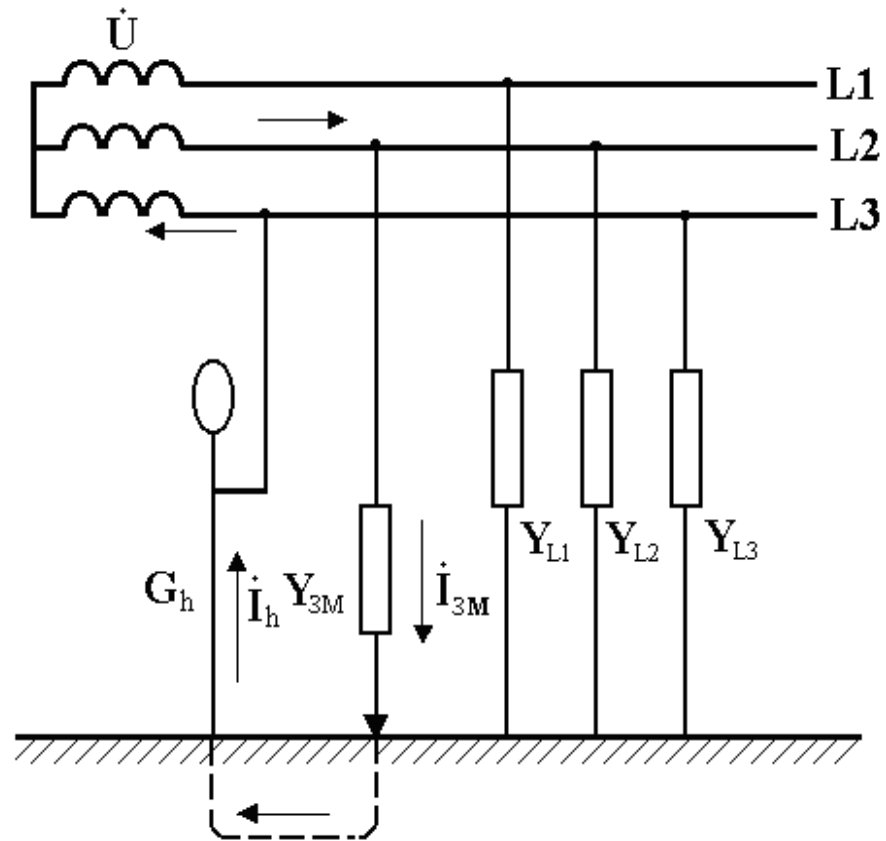


Рисунок 3.4 – Однофазное прикосновение к исправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа *IT* при аварийном режиме работы

В этом случае ток через тело человека будет равен:

$$I_h = \frac{U \cdot \sqrt{3}}{R_h + R_{3M}}, \quad (3.9)$$

где R_{3M} – сопротивление растеканию тока в месте замыкания фазного провода на землю (рисунок 3.4).

Так как обычно выполняется условие $R_{3M} \ll R_h$, то:

$$I_h = \frac{U \cdot \sqrt{3}}{R_h}, \quad (3.10)$$

$$U_h = U \cdot \sqrt{3}. \quad (3.11)$$

Если принять во внимание, что обычно $R_{3M} \ll R_h$, то

$$I_{3M} = \frac{U}{(R_{3M} + Z/3)}. \quad (3.14)$$

В действительности ток замыкания на землю будет меньше, что более безопасно для человека.

Таким образом, прикосновение к неисправному фазному проводу, замкнувшемуся на землю, в сети *IT* значительно менее опасно, чем к исправному. Значение тока, протекающего через тело человека, в этом случае меньше, чем при прямом однофазном прикосновении в нормальном режиме работы.

Система *TN-C*

Система *TN-C* – система *TN*, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (рисунок 3.6); при этом совмещенный нулевой и рабочий провод обозначается *PEN*.

Для трехфазной сети с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ типа *TN-C* (рисунок 3.6) значения тока, протекающего через тело человека и напряжение прикосновения определяются фазным напряжением сети и не зависят от сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли.

Действительно, проводимости фазного и нулевого проводников относительно земли по сравнению с проводимостью заземления нейтрали $Y_0 = 1/R_0$ малы ($Y_{L1}, Y_{L2}, Y_{L3} \ll Y_0$). При этом выражение для тока, протекающего через тело человека при прикосновении к фазному проводу при нормальном режиме работы сети *TN-C*, принимает вид:

$$I_h = \frac{U}{R_h + R_0}, \quad (3.15)$$

где R_0 – сопротивление рабочего заземления нейтрали.

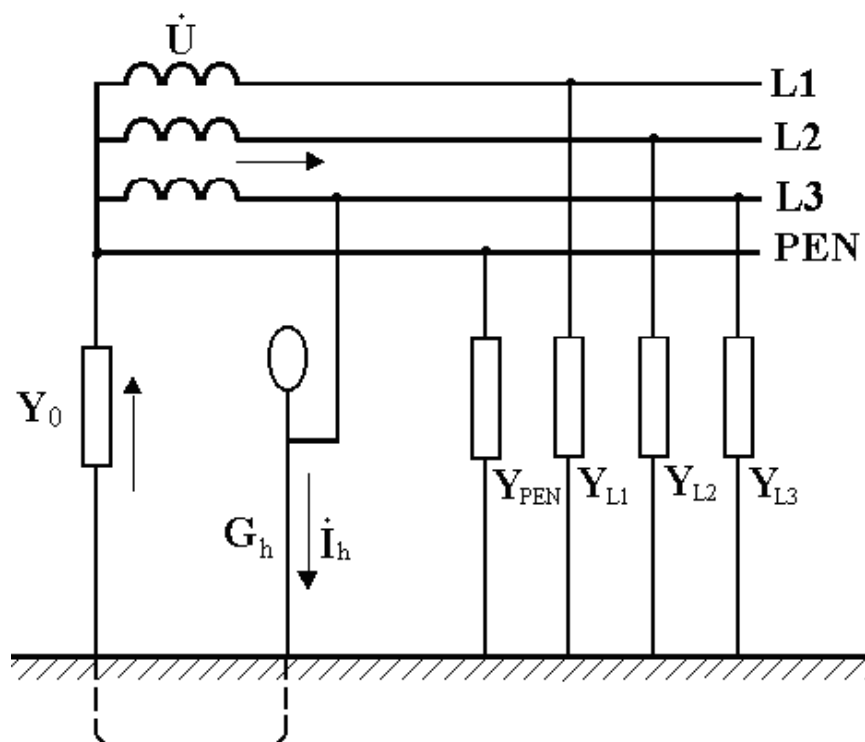


Рисунок 3.6 – Однофазное прямое прикосновение в сети с заземленной нейтралью типа *TN-C* при нормальном режиме работы

Напряжение прикосновения в этом случае определяется из уравнения:

$$U_h = \frac{UR_h}{R_h + R_0}. \quad (3.16)$$

Так как обычно $R_0 \ll R_h$, то можно считать, что человек в этом случае попадает практически под фазное напряжение сети.

При аварийном режиме, когда один из фазных проводов сети, например, провод L_2 (рисунок 3.7) замкнут на землю через относительно малое активное сопротивление R_{3M} , а человек прикасается к исправному фазному проводу, уравнение имеет следующий вид:

$$\dot{U}_h = U \cdot \frac{Y_{3M} \cdot (1-a) + Y_0}{Y_{3M} + Y_0 + G_h}. \quad (3.17)$$

Здесь учтено, что Y_{L1} , Y_{L2} и Y_{PEN} малы по сравнению с Y_0 , а Y_{L3} – по сравнению с Y_0 и Y_{3M} , т.е. ими можно пренебречь и считать равными нулю.

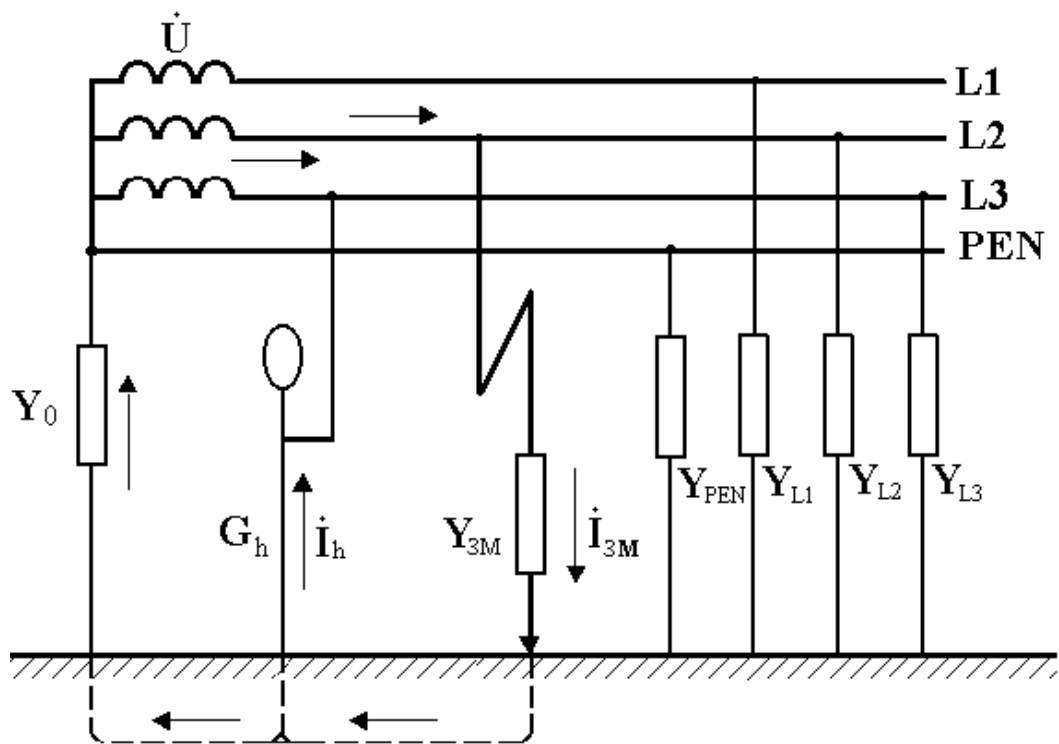


Рисунок 3.7 – Прикосновение к исправному проводу в сети с заземленной нейтралью типа *TN-C* при аварийном режиме работы

С учетом того, что

$$Y_{3M} = \frac{1}{R_{3M}}, Y_0 = \frac{1}{R_0}, G_h = \frac{1}{R_h}, \alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (3.18)$$

напряжение прикосновения в действительной форме имеет вид:

$$U_h = U \cdot R_h \frac{\sqrt{R_{3M}^2 + 3 \cdot R_{3M} \cdot R_0 + (R_0 \cdot \sqrt{3})^2}}{R_{3M} \cdot R_0 + R_h (R_{3M} + R_0)}. \quad (3.19)$$

Учитывая, что

$$3 \cdot R_{3M} \cdot R_0 \approx 2 \cdot \sqrt{3} \cdot R_{3M} \cdot R_0 \quad (3.20)$$

предыдущее выражение можно записать так:

$$U_h = U \cdot R_h \frac{R_{3M} + R_0 \cdot \sqrt{3}}{R_{3M} \cdot R_0 + R_h \cdot (R_{3M} + R_0)}. \quad (3.21)$$

При этом выражение для определения тока через тело человека имеет вид:

$$I_h = U \cdot \frac{R_{3M} + R_0 \cdot \sqrt{3}}{R_{3M} \cdot R_0 + R_h \cdot (R_{3M} + R_0)}. \quad (3.22)$$

Рассмотрим два характерных случая.

1. Если принять, что сопротивление замыкания фазного провода на землю R_{3M} равно нулю, то напряжение прикосновения $U_h = U\sqrt{3}$. Следовательно, в данном случае человек окажется практически под воздействием линейного напряжения сети.

2. Если принять равным нулю сопротивления заземления нейтрали R_0 , то $U_h = U$, т.е. напряжение, под которым окажется человек, будет практически равно фазному напряжению.

Однако в реальных условиях сопротивления R_{3M} и R_0 всегда больше нуля, поэтому напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному фазному проводу трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, т.е. напряжение прикосновения U_h всегда меньше линейного, но больше фазного, то есть $U \cdot \sqrt{3} > U_h > U$.

С учетом того, что всегда $R_{3M} > R_0$, напряжение прикосновения U_h в большинстве случаев незначительно превышает значение фазного напряжения, что менее опасно для человека, чем в аналогичной ситуации в сети типа *IT*.

При аварийном режиме работы сети типа *TN-C*, когда человек касается провода, замкнувшегося на землю (рисунок 3.8; человек касается фазного провода L_3) ток через тело человека будет определяться, также, как и в сети типа *IT*, падением напряжения на сопротивлении растеканию тока в месте замыкания на землю R_{3M} :

$$I_h = \frac{I_{3M} \cdot R_{3M}}{R_h} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2, \quad (3.23)$$

где I_{3M} – ток замыкания на землю;

α_1, α_2 – коэффициенты напряжения прикосновения.

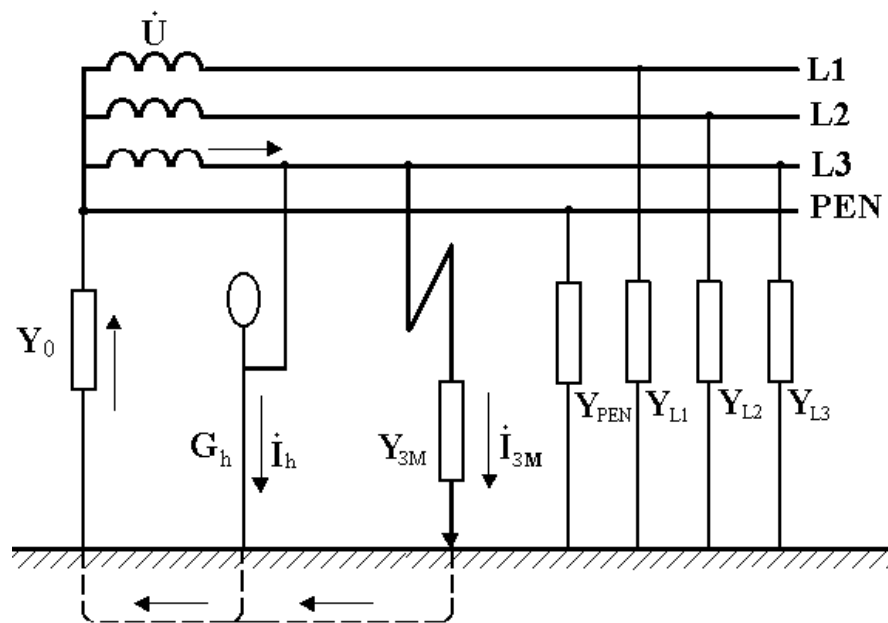


Рисунок 3.8 – Прикосновение к неисправному проводу в сети с заземленной нейтралью типа *TN-C* при аварийном режиме работы

При $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$

$$I_h = \frac{I_{3M} \cdot R_{3M}}{R_h}. \quad (3.24)$$

Ток замыкания на землю в сети *TN-C* зависит только от сопротивления растеканию тока R_{3M} , сопротивления заземления нейтрали R_0 и сопротивления тела человека R_h . Если принять во внимание, что обычно $R_{3M} \ll R_h$, то

$$I_{3M} = \frac{U}{(R_{3M} + R_0)} \quad (3.25)$$

В этом случае напряжение прикосновения лишь незначительно отличается от значения фазного напряжения.

Таким образом, прикосновение к неисправному фазному проводу, замкнувшемуся на землю, в сети *TN-C* практически также опасно, как и к исправному. Значение тока, протекающего через тело человека, в этом случае почти такое же, как при прямом однофазном прикосновении в нормальном режиме работы в сети *TN-C*.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на виртуальном лабораторном стенде LabVIEW.

На лицевой панели стенда в зависимости от того какой тип сети исследуется, отображается схема этой сети, на которой имитируется однофазное прямое прикосновение человека. На рисунках 3.9, 3.10 приведены варианты лицевой панели с необходимыми пояснениями.

Лампочка кнопки «Сеть» изменяет цвет на зеленый при включении питания сети. Измерение тока через человека I_h производится миллиамперметром, включенным в “цепь тела человека”. Вольтметр показывает напряжение прикосновения U_{np} . Задание параметров сети, подключение человека к фазным проводам и их замыкание на землю осуществляется с помощью мыши.

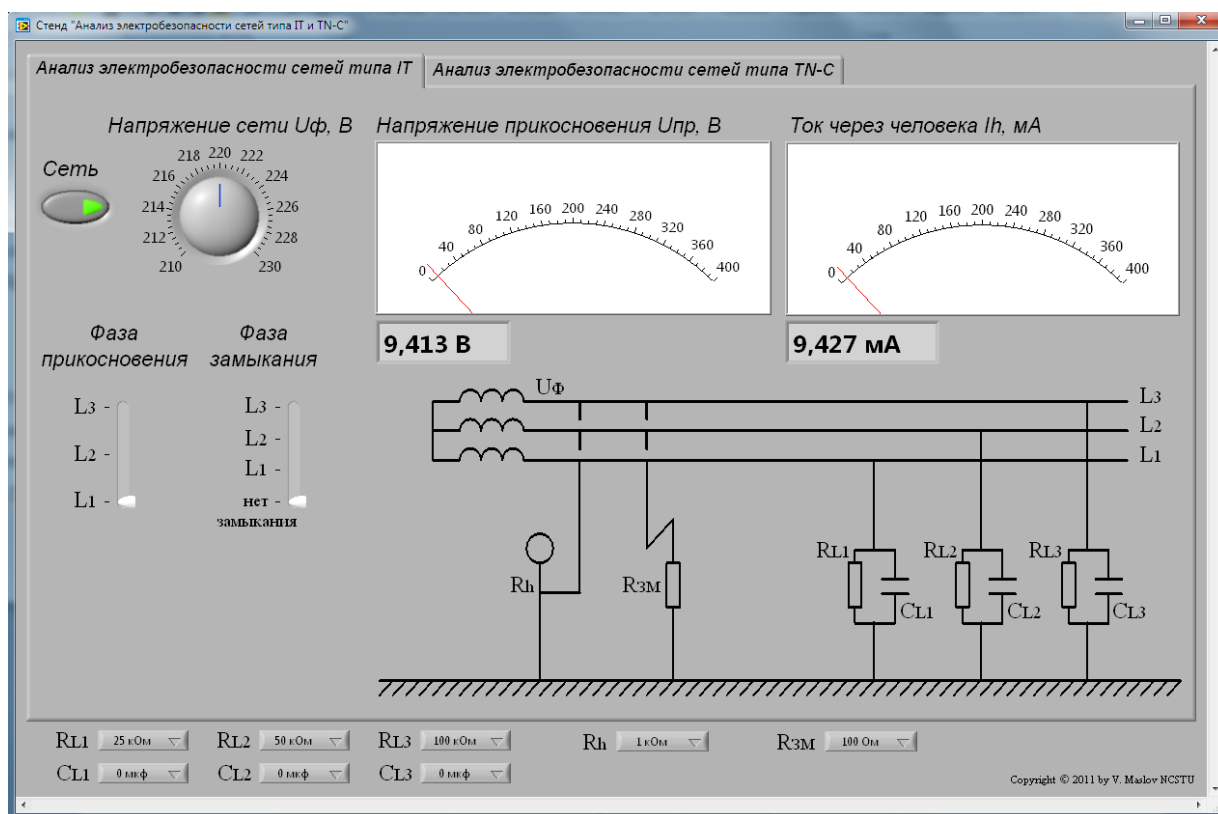


Рисунок 3.9 – Лицевая панель лабораторного стенда для исследования трехфазной сети с изолированной нейтралью (IT)

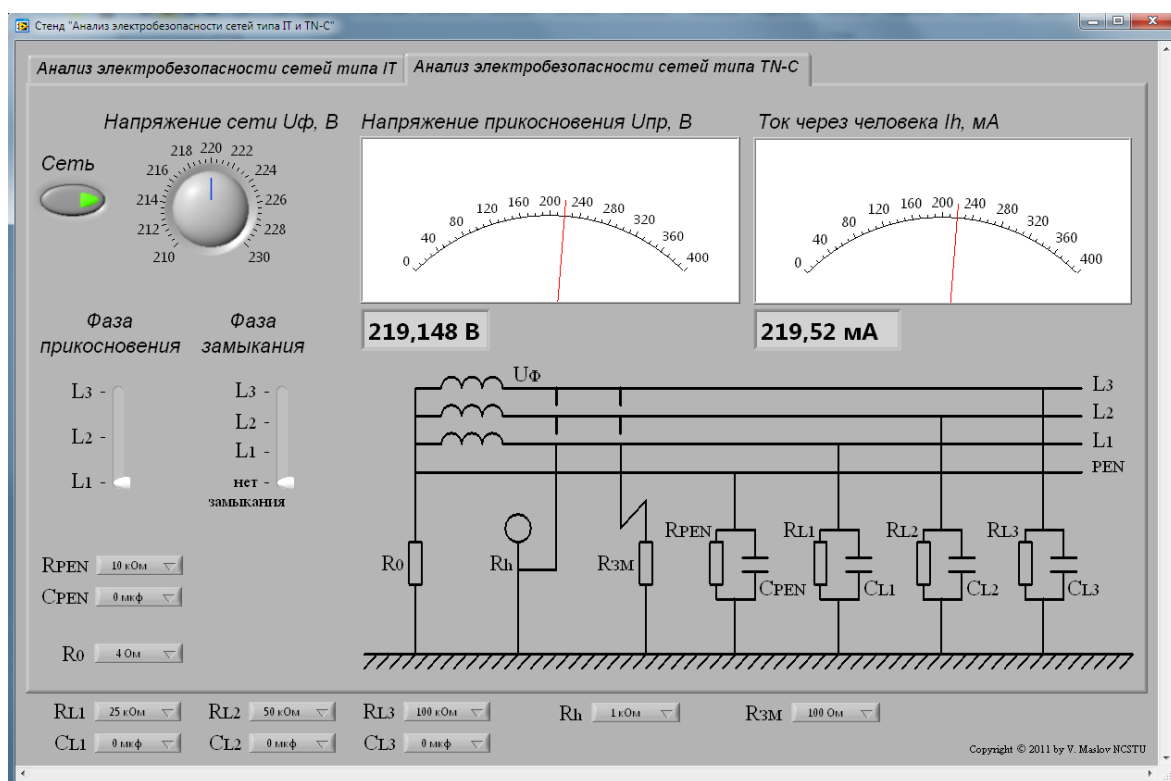


Рисунок 3.10 – Лицевая панель лабораторного стенда для исследования трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью (TN-C)

Методика и порядок выполнения работы

Порядок выполнения работы для сети IT

1. Выставить параметры сети в соответствии с номером варианта, заданным преподавателем (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Варианты заданий

Вариант №	R_{L1} , кОм	R_{L2} , кОм	R_{L3} , кОм	R_h , кОм	C_{L1} , мкФ	C_{L2} , мкФ	C_{L3} , мкФ
1	25	50	100	1	0	0	0
2	10	60	90	2	0	0	0
3	150	60	10	5	0	0	0
4	90	50	25	7	0	0	0
5	25	60	90	10	0	0	0
6	150	50	90	1	0	0	0
7	10	50	25	2	0	0	0
8	90	60	150	5	0	0	0
9	25	100	150	7	0	0	0
10	100	10	50	10	0	0	0

Подключая модель человека поочередно к фазным проводам $L1, L2, L3$ (имитируется прямое прикосновение человека к токоведущей части) при нормальном режиме работы сети, снять показания миллиамперметра. Значения токов через тело человека и напряжения прикосновения записать в таблицу 3.4.

2. В дополнение к выставленным в п.1 параметрам сети в соответствии с номером варианта, заданным преподавателем установите значение $R_{зм}$ (таблица 3.2)

Таблица 3.2 – Значения $R_{зм}$

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
$R_{зм} = 100 \text{ Ом}$	$R_{зм} = 50 \text{ Ом}$	$R_{зм} = 150 \text{ Ом}$	$R_{зм} = 120 \text{ Ом}$	$R_{зм} = 30 \text{ Ом}$
Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8	Вариант 9	Вариант 10
$R_{зм} = 1 \text{ Ом}$	$R_{зм} = 80 \text{ Ом}$	$R_{зм} = 170 \text{ Ом}$	$R_{зм} = 200 \text{ Ом}$	$R_{зм} = 10 \text{ Ом}$

Подключая модель человека поочередно к фазным проводам $L1, L2, L3$ (имитируется прямое прикосновение человека к токоведущей части) при аварийном режиме работы сети поочередно каждого из фазных проводов (замыкая их на землю), снять показания миллиамперметра. Значения токов через тело человека и напряжения прикосновения записать в таблицу 3.5.

3. Подключить модель человека к фазному проводу $L1$ (имитируется прямое прикосновение человека к токоведущей части). При нормальном режиме работы сети снять показания миллиамперметра для каждого из следующих значений активного сопротивления изоляции фазных проводов сети относительно земли: $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R = 1; 2,5; 5; 10; 25; 50; 100 \text{ кОм}$ при значениях емкости фазных проводов сети относительно земли: $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C = 0 \text{ мкФ}$. Значения токов через тело человека и напряжения прикосновения записать в таблицу 3.6. По результатам измерений построить график зависимости $I_h = f(R)$ при $C = 0$.

4. Подключить модель человека к фазному проводу $L1$ (имитируется прямое прикосновение человека к токоведущей части). При нормальном

режиме работы сети снять показания миллиамперметра для каждого из следующих значений емкости фазных проводов сети относительно земли: $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C = 0; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2$ мкФ при активном сопротивлении изоляции фазных проводов сети относительно земли: $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R = 150$ кОм. Значения токов через тело человека и напряжения прикосновения записать в таблицу 3.7. По результатам измерений построить график зависимости $I_h = f(C)$ при $R = 150$ кОм.

Порядок выполнения работы для сети TN-C

1. Выставить параметры сети в соответствии с номером варианта, заданным преподавателем (таблица 3.1). Сопротивление изоляции нулевого проводника и сопротивление заземления нейтрали принять в соответствии с номером варианта, заданным преподавателем (таблица 3.3). Подключая модель человека поочередно к фазным проводам $L1, L2, L3$ (имитируется прямое прикосновение человека к токоведущей части) при нормальном режиме работы сети, снять показания миллиамперметра. Значения токов через тело человека и напряжения прикосновения записать в таблицу 3.4.

Таблица 3.3 – Значения R_{PEN} и R_0

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
$R_{PEN} = 10$ кОм $R_0 = 4$ Ом	$R_{PEN} = 50$ кОм $R_0 = 2$ Ом	$R_{PEN} = 25$ кОм $R_0 = 6$ Ом	$R_{PEN} = 60$ кОм $R_0 = 8$ Ом	$R_{PEN} = 100$ кОм $R_0 = 10$ Ом
Вариант 6	Вариант 7	Вариант 8	Вариант 9	Вариант 10
$R_{PEN} = 90$ кОм $R_0 = 4$ Ом	$R_{PEN} = 150$ кОм $R_0 = 2$ Ом	$R_{PEN} = 1$ кОм $R_0 = 6$ Ом	$R_{PEN} = 5$ кОм $R_0 = 8$ Ом	$R_{PEN} = 2,5$ кОм $R_0 = 10$ Ом

2. В дополнение к выставленным в п.1 параметрам сети в соответствии с номером варианта, заданным преподавателем установите значение $R_{зм}$ (таблица 3.2). Подключая модель человека поочередно к фазным проводам $L1, L2, L3$ (имитируется прямое прикосновение человека к токоведущей части) при аварийном режиме работы сети поочередно каждого из фазных проводов

(замыкая их на землю), снять показания миллиамперметра. Значения токов через тело человека и напряжения прикосновения записать в таблицу 3.5.

3. Подключить модель человека к фазному проводу $L1$ (имитируется прямое прикосновение человека к токоведущей части). При нормальном режиме работы сети снять показания миллиамперметра для каждого из следующих значений активного сопротивления изоляции фазных проводов сети относительно земли: $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R_{PEN} = R = 1; 2,5; 5; 10; 25; 50; 100$ кОм при значениях емкости фазных проводов сети относительно земли $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C_{PEN} = C = 0$ мкФ. Значения токов через тело человека и напряжения прикосновения записать в таблицу 3.6.

4. Подключить модель человека к фазному проводу $L1$ (имитируется прямое прикосновение человека к токоведущей части). При нормальном режиме работы сети снять показания миллиамперметра для каждого из следующих значений емкости фазных проводов сети относительно земли: $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C_{PEN} = C = 0; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2$ мкФ при активном сопротивлении изоляции фазных проводов сети относительно земли: $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R_{PEN} = 150$ кОм. Значения токов через тело человека и напряжения прикосновения записать в таблицу 3.7.

Содержание отчета и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Схемы замещения сети типа IT и типа $TN-C$.

3. Исследование опасности прямого прикосновения человека к фазным проводам с несимметричными параметрами относительно земли в сетях двух типов IT и $TN-C$ при нормальном режиме работы (таблица 3.4).

4. Исследование опасности прямого прикосновения человека к фазным проводам с несимметричными параметрами относительно земли в сетях двух типов IT и $TN-C$ при аварийном режиме работы (поочередное замыкание каждого из фазных проводов на землю (таблица 3.5)).

5. Исследование опасности поражения человека электрическим током при нормальном режиме работы в сетях двух типов IT и $TN-C$ с симметричными параметрами в зависимости от значения активного сопротивления изоляции при постоянном значении емкости фазных проводов относительно земли (таблица 3.6). График зависимости $I_h = f(R)$ при $C = 0$.

6. Исследование опасности поражения человека электрическим током при нормальном режиме работы в сетях двух типов IT и $TN-C$ с симметричными параметрами в зависимости от значения емкости при постоянном значении активного сопротивления изоляции фазных проводов относительно земли (таблица 3.7). График зависимости $I_h = f(C)$ при $R = 150 \text{ кОм}$.

Таблица 3.4 – Нормальный режим работы сети; несимметричные параметры

Тип сети	$U_{PP(L1)}, \text{ В}$	$I_{h(L1)}, \text{ мА}$	$U_{PP(L2)}, \text{ В}$	$I_{h(L2)}, \text{ мА}$	$U_{PP(L3)}, \text{ В}$	$I_{h(L3)}, \text{ мА}$
$R_{L1} = , \text{ кОм}$ $R_{L2} = , \text{ кОм}$ $R_{L3} = , \text{ кОм}$ $R_{PEN} = , \text{ кОм}$ $R_0 = , \text{ Ом}$ $R_h = , \text{ кОм}$						

Таблица 3.5 – Аварийный режим работы сети; несимметричные параметры

Тип сети	Фаза замыкания	$U_{PP(L1)}, \text{ В}$	$I_{h(L1)}, \text{ мА}$	$U_{PP(L2)}, \text{ В}$	$I_{h(L2)}, \text{ мА}$	$U_{PP(L3)}, \text{ В}$	$I_{h(L3)}, \text{ мА}$
$R_{L1} = , \text{ кОм}$ $R_{L2} = , \text{ кОм}$ $R_{L3} = , \text{ кОм}$ $R_{PEN} = , \text{ кОм}$ $R_0 = , \text{ Ом}$ $R_h = , \text{ кОм}$ $R_{3M} = , \text{ Ом}$	$L1$						
	$L2$						
	$L3$						

Таблица 3.6 – Нормальный режим работы сети; симметричные параметры при $C = 0$ мкФ

Тип сети	R , кОм	1	2,5	5	10	25	50	100
$R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R_{PEN} = R$, кОм	U_{PP} , В							
$R_0 =$, Ом								
$R_h =$, кОм	I_h , мА							
$C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C_{PEN} = 0$, мкФ								

Таблица 3.7 – Нормальный режим работы сети; симметричные параметры при $R = 150$ кОм

Тип сети	C , мкФ	0	0,1	0,25	0,5	1	1,5	2
$R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R_{PEN} = 150$, кОм	U_{PP} , В							
$R_0 =$, Ом								
$R_h =$, кОм	I_h , мА							
$C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C_{PEN} = C$, мкФ								

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета в форме устного опроса.

1. Дать определение системе заземления TN .
2. Дать определение системе заземления $TN-C$.
3. Написать и пояснить выражение для тока, протекающего через тело человека при прикосновении к фазному проводу при нормальном режиме работы сети $TN-C$.
4. Написать и пояснить выражение напряжение прикосновения в действительной форме при аварийном режиме работы сети типа $TN-C$, когда человек касается провода, замкнувшегося на землю.
5. От чего зависит ток замыкания на землю в сети $TN-C$.
6. Дать анализ электробезопасности сетей типа IT .
7. Однофазное прикосновение к неисправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа IT при аварийном режиме работы.

8. Однофазное прикосновение к исправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа *IT* при аварийном режиме работы.

9. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью типа *IT* при нормальном режиме работы.

Лабораторная работа № 4

Определение электрического сопротивления тела человека на базе LabVIEW

Цель и содержание работы

Используя физическую модель, определить зависимость сопротивления тела человека от характеристик электрической цепи (напряжение, род и частота тока), а также рассчитать параметры эквивалентной схемы.

1. Определить значения пороговых ощутимых токов: переменного с частотой 50 Гц, постоянного и выпрямленных – однополупериодного и двухполупериодного.
2. Определить зависимость сопротивления тела человека от частоты приложенного напряжения.
3. Определить зависимость сопротивления тела человека от значения приложенного напряжения.
4. Определить значения параметров эквивалентной схемы сопротивления тела человека по результатам экспериментов.

Теоретическое обоснование

Действие электрического тока на организм человека

Степень отрицательного воздействия электрического тока на организм человека зависит от значения тока, протекающего через него, длительности его воздействия, пути прохождения в теле человека и некоторых других факторов.

Сопротивление тела человека и значение приложенного к нему напряжения также влияют на исход поражения, но лишь постольку, поскольку они определяют значения тока, проходящего через тело человека.

Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него тока

при значениях 0,6–1,5 мА при переменном токе с частотой 50 Гц и 5–7 мА при постоянном токе (таблица 4.1). Эти значения являются границами или порогами, с которых начинаются области ощутимых токов, и носят название *пороговых ощутимых токов*. Выпрямленные токи одно- и двухполупериодные по порогам ощутимого тока занимают промежуточное значение между переменным и постоянным токами.

Таблица 4.1 – Реакция человека на протекание электрического тока

Ток, мА	Характер воздействия тока	
	переменный 50–60 Гц	постоянный
0,6–1,5	Начало ощущения, легкое дрожание пальцев рук	Не ощущается
2–3	Сильное дрожание пальцев рук	Не ощущается
5–7	Начало судорог в руках	Зуд, ощущение нагрева
8–10	Руки трудно, но еще можно оторвать от электродов. Сильные боли.	Усиление нагрева.
20–25	Паралич рук. Дыхание затруднено.	Еще большее усиление нагрева. Незначительное сокращение мышц рук.
50–80	Паралич дыхания. Начало трепетания желудочков сердца.	Сильное ощущение нагрева. Сокращение мышц рук. Судороги, затруднение дыхания.
90–100	Фибрилляция сердца. При длительности 3 с и более – паралич сердца.	Паралич дыхания.

Ток, вызывающий при прохождении через тело человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник, называется *неотпускающим током*, а наименьшее его значение *пороговым неотпускающим током*. Значения пороговых неотпускающих токов у различных людей различны. Они различны также у мужчин и женщин.

Средние их значения составляют: для мужчин 16 мА при 50 Гц и 80 мА при постоянном токе, для женщин соответственно – 11 и 50 мА.

Ток, вызывающий при прохождении через организм фибрилляцию

сердца, называется *фибрилляционным током*, а наименьшее его значение *пороговым фибрилляционным током*. Фибрилляция сердца заключается в беспорядочном сокращении и расслаблении мышечных волокон сердца. Сердце затрачивает значительную энергию и не производит полезной работы, кровообращение прекращается. Пороговый фибрилляционный ток зависит от многих факторов, в том числе от массы тела человека и колеблется в пределах 50–400 мА (при 50 Гц). Среднее его значение принято считать равным 100 мА при 50 Гц и 300 мА при постоянном токе.

Поскольку человек при меньшей продолжительности воздействия может выдержать больший ток, то ГОСТом 12.1.038–82 (с изменениями от 01.07.88) установлены предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через человека в зависимости от времени воздействия. Значения пороговых токов являются исходными данными для разработки критериев электробезопасности, в первую очередь – допустимых значений напряжений прикосновения и токов, проходящих через тело человека. Значения напряжений прикосновения и токов частотой 50 Гц при аварийном режиме производственных электроустановок до 1000 В с любым режимом нейтрали и выше 1000 В с изолированной нейтралью приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов через человека в зависимости от продолжительности воздействия

Продолжительность воздействия тока, с	Нормируемая величина		Продолжительность воздействия тока, с	Нормируемая величина	
	напряжение прикосновения, В	ток, мА		напряжение прикосновения, В	ток, мА
0,01–0,08	550	650	0,6	95	105
0,1	340	400	0,7	85	90
0,2	160	190	0,8	75	75
0,3	135	160	0,9	70	65
0,4	120	140	1	60	50
0,5	105	125	Более 1	20	6

При прикосновении к токоведущим частям, находящимся под напряжением, человек включается в электрическую цепь и может рассматриваться как элемент этой цепи. Сопротивление тела человека – величина нелинейная, колеблющаяся в широких пределах и зависящая от ряда факторов: состояния кожи (сухая, влажная, чистая и т.п.); площади и плотности контактов; значения силы тока, протекающего через человека; значения приложенного напряжения; рода и частоты тока и продолжительности его воздействия. Значение сопротивления тела человека требуется знать при разработке защитных мер от поражения электрическим током, анализе условий электробезопасности, а также расследовании несчастных случаев.

Разные ткани по-разному проводят ток: одни лучше, другие хуже. Наибольшее сопротивление электрическому току оказывает кожа. Другие ткани, в том числе мышечная и жировая, спинной и головной мозг, а также кровь имеют по сравнению с кожей весьма малое сопротивление.

Сопротивление тела человека, т.е. сопротивление между двумя электродами, наложенными на поверхность тела, у разных людей различно. Неодинаковым оказывается сопротивление тела у одного и того же человека в разное время и при разных условиях измерения. При сухой, чистой и неповрежденной коже сопротивление тела, измеренное при напряжении 15–20 В переменного тока 50 Гц, колеблется в пределах от 1 до 10 кОм, а иногда и в более широких пределах. Если на участках кожи, где прикладываются электроды, соскоблить роговой слой, сопротивление тела упадет и станет равным 1–5 кОм, а при удалении всего наружного слоя (эпидермиса) – 500–700 Ом. Если же под электродами полностью удалить кожу, то будет измерено сопротивление подкожных тканей тела, которое у всех людей практически одинаково и составляет лишь 300–500 Ом.

Удельное сопротивление эпидермиса находится в пределах – 10^4 – 10^5 Ом·м, а диэлектрическая проницаемость – 80–100.

Кожа состоит из двух основных слоев: наружного – эпидермиса,

обладающего большим сопротивлением, и внутреннего – дермы, имеющего относительно малое сопротивление, близкое по значению к сопротивлению внутренних подкожных тканей тела. Сопротивление тела человека, т.е. сопротивление между двумя электродами, наложенными на поверхность тела (рисунок 4.1, *а*), условно можно считать состоящим из трех последовательно включенных сопротивлений Z_n , R_b , Z_n , где Z_n обусловлено активным сопротивлением R_n и емкостью C_n (рисунок 4.1, *б*). Два одинаковых сопротивления Z_n наружного слоя кожи – эпидермиса называются наружным сопротивлением тела человека, а сопротивление R_b внутренних тканей тела – внутренним сопротивлением и состоит из сопротивления внутреннего слоя кожи – дермы и сопротивления подкожных тканей тела.

Сопротивление каждого наружного слоя кожи содержит два параллельно включенных сопротивления: активное R_n , кОм и емкостного, которое обусловлено тем, что в месте прикосновения токоведущей части (электрода) к телу человека образуется структура, эквивалентная конденсатору с некоторой емкостью C_n , мкФ (рисунок 4.1, *б*).

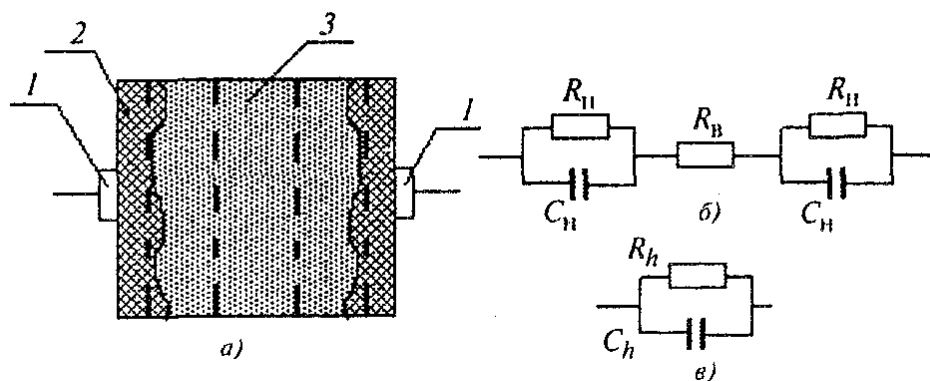


Рисунок 4.1 – Определение сопротивления тела человека:

а – схема измерения сопротивления; *б* – эквивалентная схема сопротивления тела человека; *в* – упрощенная схема; *1* – электроды; *2* – наружный слой кожи (эпидермис); *3* – внутренние ткани тела (включая нижний слой кожи – дерму); R_n – активное сопротивление наружного слоя; C_n – емкость образовавшегося конденсатора; R_b – сопротивление внутренних тканей; R_h – активное сопротивление тела; C_h – емкость тела человека

Обкладками этого конденсатора являются электрод и хорошо проводящие ток ткани тела человека, лежащие под наружным слоем кожи, а диэлектриком, разделяющим обкладки, является слой эпидермиса.

Полное сопротивление тела человека в комплексной форме $\underline{Z}_h$, кОм, в соответствии с эквивалентной схемой, показанной на рисунке 4.1, б, выражается следующей зависимостью:

$$\underline{Z}_h = 2\underline{Z}_n + R_g = \frac{2}{\frac{1}{R_n} + j\omega C_n} + R_g, \quad (4.1)$$

а в действительной форме

$$Z_h = \sqrt{\frac{4R_n(R_n + R_g)}{1 + \omega^2 R_n^2 C_n^2}} + R_g. \quad (4.2)$$

Здесь $\underline{Z}_n$ – полное сопротивление наружного слоя кожи в комплексной форме, кОм; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, 1/с; f – частота тока, кГц.

Из выражений (4.1) и (4.2) видно, что с уменьшением частоты сопротивление тела человека возрастает и при $f = 0$, т.е. при постоянном токе, сопротивление тела человека имеет наибольшее значение и оказывается равным сумме активных сопротивлений обоих слоев эпидермиса и внутренних тканей тела:

$$Z_h = 2R_n + R_g = R_{h0}, \quad (4.3)$$

где R_{h0} – сопротивление тела человека постоянному току, кОм.

С ростом частоты Z_h уменьшается (за счет уменьшения емкостного сопротивления) и при $f = 2,5 - 5$ кГц незначительно отличается от внутреннего сопротивления R_g , а при 10 кГц можно считать, что наружный слой кожи практически утрачивает сопротивление электрическому току, и, следовательно,

$$Z_h = R_g. \quad (4.4)$$

Эквивалентную схему, представленную на рисунке 4.1, б, можно упростить, представив сопротивление тела человека как параллельное соединение сопротивления $R_h = 2 R_n + R_g$ и емкости $C_h = 0,5C_n$, которые

назовем соответственно активным сопротивлением и емкостью тела человека (рисунок 4.1, в). В этом случае полное сопротивление тела человека, кОм, в действительной форме определяется по выражению

$$Z_h = \frac{R_h}{\sqrt{1 + \omega^2 R_h^2 C_h^2}}, \quad (4.5)$$

из которого можно определить значение C_h , мкФ,

$$C_h \approx 2C_h = \frac{\sqrt{R_h^2 - Z_h^2}}{\pi f R_h Z_h}. \quad (4.6)$$

Повышение напряжения, приложенного к телу человека, сопровождается уменьшением полного сопротивления тела человека Z_h , которое в пределе приближается к наименьшему значению сопротивления внутренних тканей тела R_v . Уменьшение Z_h , происходит в основном за счет уменьшения сопротивления кожи, что в свою очередь объясняется влиянием ряда факторов, в том числе ростом тока, проходящего через кожу, пробоем наружного слоя кожи и др.

Повышение напряжения, приложенного к телу человека, U_{np} вызывает уменьшение в десятки раз его полного сопротивления Z_h , которое в пределе приближается к наименьшему значению сопротивления подкожных тканей тела (примерно 300 Ом). Многочисленные опыты подтверждают характер этой зависимости, хотя значения сопротивлений, полученные при замерах разными авторами, обычно сильно различаются. Объясняется это главным образом разными условиями опытов (которые производились с животными и трупами людей и лишь в пределах безопасных токов – с живыми людьми), а также индивидуальными особенностями испытуемых.

Для напряжений 5 В и выше при переменном токе 50 Гц эта зависимость, кОм, при длительном (несколько секунд) приложении напряжения на участках рука – рука, а также с некоторым приближением рука – ноги и нога – нога выражается формулой:

$$Z_h = 77 / (U_{np} + 10) + 0,3, \quad (4.7)$$

где U_{np} – в вольтах.

Из (4.7) нетрудно получить выражение для вычисления приближенных наибольших значений тока, проходящего через человека, I_h , мА, в зависимости от напряжения U_{np} , В, приложенного к его телу (при $U_{np} \geq 5$ В), а также от Z_h (при $0,3 < Z_h < 6$ кОм):

$$I_h = \frac{U_{np}(U_{np} + 10)}{0,3U_{np} + 80}; \quad (4.8)$$

$$I_h = \frac{80 - 10Z_h}{Z_h(Z_h - 0,3)}. \quad (4.9)$$

Резкое уменьшение сопротивления наблюдается при напряжениях до 50 В, когда при токе 50 Гц Z_h оказывается равным примерно 1,6–2 кОм. Затем Z_h незначительно снижается и составляет примерно 950 Ом при 110 В,

600 Ом при 220 В, 500 Ом при 380 В, 400 Ом при 1000 В и т. д. При больших напряжениях сопротивление приближается к наименьшему пределу 300 Ом.

Международная электротехническая комиссия (МЭК) рекомендовала следующие наименьшие значения сопротивления тела человека R_h в зависимости от приложенного к телу напряжения U_{np} (рука – ноги) при 50 Гц:

U_{np} , В	25	50	250	Выше 250
R_h , Ом	2500	2000	1000	650

В нашей стране приняты в качестве расчетных $R_h = 1000$ Ом при $U_{np} = 50$ В и выше и $R_h = 6000$ Ом при $U_{np} = 36$ В.

Уменьшение Z_h с ростом приложенного напряжения происходит в основном за счет уменьшения сопротивления кожи и объясняется влиянием ряда факторов, в том числе увеличением тока, проходящего через кожу, и пробоем рогового слоя кожи под влиянием приложенного напряжения.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на виртуальном лабораторном стен-

де LabVIEW, лицевая панель которого изображена на рисунке 4.2.

Включение стенда осуществляется кнопкой «Сеть». Перед включением ручка потенциометра «Регулировка $U_{пр}$ » должна находиться в крайнем левом положении. О готовности стенда к работе свидетельствует загорание сигнальной лампы «Сеть» после включения стенда. В соответствии с заданием режим работы стенда устанавливается соответствующим положением ползунка на переключателе «Режим измерения». Род тока устанавливается соответствующим положением ползунка на переключателе «Выбор рода тока». Частота переменного тока устанавливается с помощью выпадающего списка «Частота», а напряжение, приложенное к телу человека, и ток, проходящий через человека по пути рука-рука, измеряются соответственно вольтметром и миллиамперметром, размещенными на лицевой панели стенда. Модель человека в соответствии с заданным вариантом выбирается с помощью выпадающего списка «Модель человека».

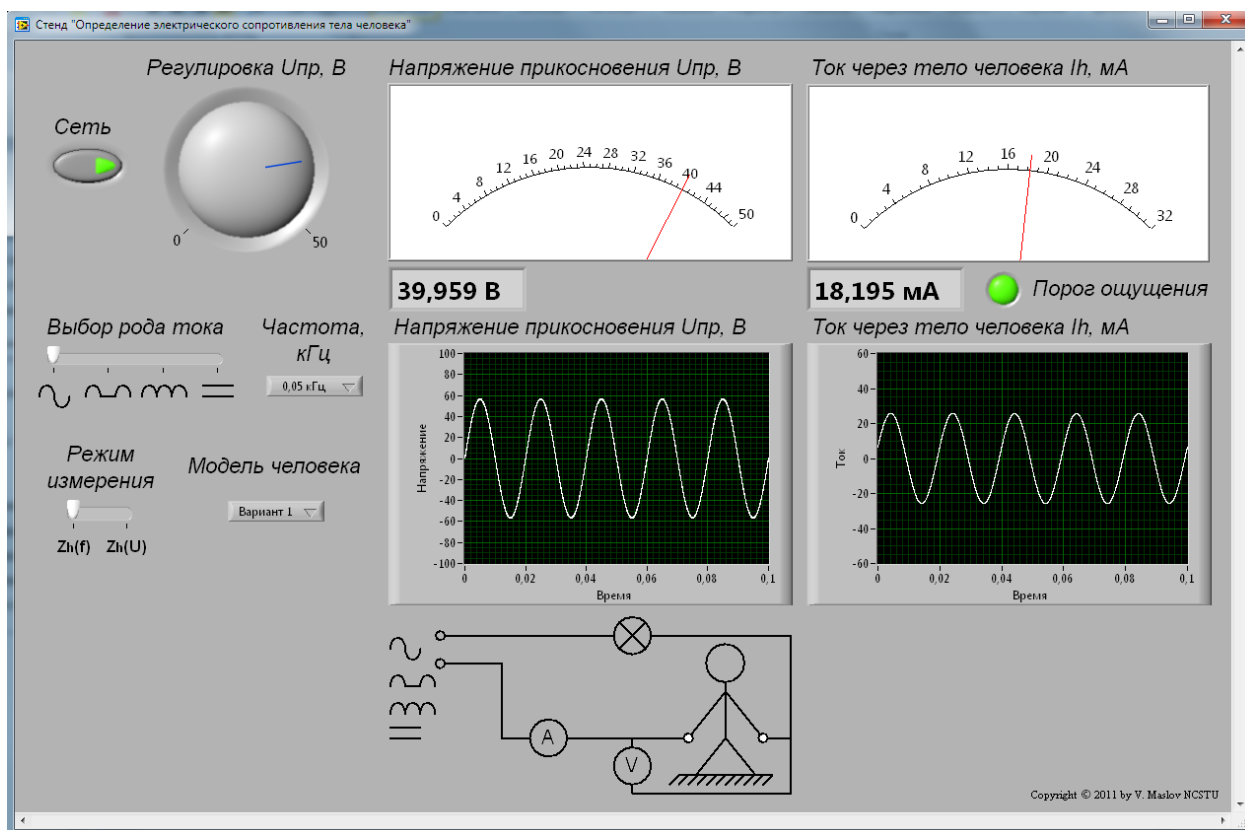


Рисунок 4.2 – Лицевая панель стенда для исследования сопротивления тела человека

Методика и порядок выполнения работы

Выбрать модель человека в соответствии с заданным вариантом с помощью выпадающего списка «Модель человека».

1 Определение пороговых ощутимых токов

После включения стенда установите переключатели: «Режим измерения» в положение « $Z_h(f)$ », «Выбор рода тока» в положение « $\sim$ » и «Частота» в положение «0,05 кГц».

Плавным поворотом ручки потенциометра «Регулировка U_{np} » увеличьте напряжение, приложенное к телу человека, и тем самым увеличьте ток, протекающий через человека по пути рука–рука. В момент загорания лампочки «Порог ощущения» зафиксируйте значение I_h по миллиамперметру. Установив ползунок на переключателе «Выбор рода тока» в соответствующее положение, аналогичным образом определите значения постоянного и выпрямленного однополупериодного и двухполупериодного пороговых ощутимых токов. При этом переключатель «Частота» должен быть установлен в положении «0,05 кГц», так как выпрямительный блок работает на этой частоте.

Измеренные значения пороговых ощутимых токов занесите в таблицу 4.3.

2 Определение зависимости сопротивления тела человека от частоты приложенного напряжения $Z_h(f)$

Установите переключатели: «Режим измерения» в положение « $Z_h(f)$ », «Выбор рода тока» в положение « $\sim$ ». Изменяя частоту тока от 0,01 до 10 кГц с помощью переключателя «Частота», запишите показания вольтметра (напряжение U_{np} , приложенное к телу человека) при каждом значении частоты. При этом, воздействуя на ручку потенциометра «Регулировка U_{np} », поддерживайте в течение всего опыта постоянное значение тока, протекающего через тело человека I_h , равное 4 мА.

Измеренные значения U_{np} и вычисленной величины $Z_h = U_{np} / I_h$ для

каждой точки замера заносятся в таблицу 4.4.

3 Определение зависимости сопротивления тела человека от значения приложенного напряжения при частоте 50 Гц, т.е. зависимости $Z_h(U_{np})$

Установить переключатель «Режим измерения» в положение « $Z_h(U)$ », а переключатель «Частота» – в положение «0,05кГц». Измеряя напряжение с помощью потенциометра «Регулировка U_{np} » от 2 до 45 В, записывать показания миллиамперметра, т.е. значения тока I_h , протекающего через тело человека. Вычислить значения $Z_h = U_{np} / I_h$ для каждой точки замера и внести их в таблицу 4.5.

4 Определение параметров эквивалентной схемы сопротивления тела человека $R_в$, R_n , C_n производить в следующем порядке:

а) сопротивление внутренних тканей $R_в$ определите по выражению (4.4), для чего из таблицы 4.4 взять значение Z_h , соответствующее частоте тока $f = 10$ кГц;

б) активное сопротивление наружного слоя кожи R_n определите экспериментально. Для этого включите стенд, переключатель «Выбор рода тока» установите в положение « = », переключатель «Частота» – в положение «0,05 кГц», переключатель «Режим измерения» – в положение « $Z_h(f)$ » и при $I_h = 4$ мА запишите значение U_{np} . Вычислите значения $R_{h0} = Z_h = U_{np} / I_h$. Зная значение $R_в$, по выражению (4.3) вычислите R_n ;

в) ёмкость C_n определите для двух значений частоты 50 и 500 Гц по выражению (4.6). В выражение (4.6) подставьте значения Z_h , взятые из таблицы 4.4, а значение R_h принять равным R_{h0} .

Полученные результаты сводятся в таблицу 4.6.

Содержание отчета и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной

работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Принципиальную схему включения человека в цепь электрического тока.
3. Измеренные значения пороговых ощутимых токов (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Пороговые ощутимые токи

Род тока, проходящего через человека	$\sim$	=	$\cap\_ \cap$	$\cap \cap \cap$
Измеренные значения порогового ощутимого тока, мА				

4. Измеренные и вычисленные значения U_{np} и I_h , необходимые для определения зависимости сопротивления тела человека от частоты тока, протекающего через него, сведенные в таблицу 4.4, и график $Z_h(f)$, построенный в полулогарифмическом масштабе.

Таблица 4.4 – Определение зависимости сопротивления тела человека от частоты

Частота тока, кГц	0,01	0,025	0,05	0,1	0,25	0,5	1	5	10
$lg f$	1	1,4	1,7	2	2,4	2,7	3	3,4	4
Напряжение U_{np} , В при $I_h = 4$ мА									
Сопротивление тела человека Z_h , кОм									

5. Измеренные и вычисленные значения U_{np} , I_h , Z_h , необходимые для определения зависимости сопротивления тела человека от значения приложенного напряжения, сведенные в таблицу 4.5 и график $Z_h(U_{np})$.

Таблица 4.5 – Определение зависимости сопротивления тела человека от напряжения

U_{np} , В	2	5	10	15	20	23	26	30	32	35	45
I_h , мА											
Z_h , кОм											

6. Эквивалентную схему сопротивления тела человека, основные расчетные выражения и результаты расчета параметров этой схемы для двух значений частоты тока (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Определение параметров эквивалентной схемы сопротивления тела человека

R_6 , кОм	R_{h0} , кОм	R_n , кОм	$f = 50$ Гц		$f = 500$ Гц	
			Z_h , кОм	C_n , мкФ	Z_h , кОм	C_n , мкФ

7. Выводы о влиянии рода, частоты тока и значения напряжения, приложенного к телу человека на его сопротивление.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета в форме устного опроса.

1. Какие факторы определяют степень отрицательного воздействия электрического тока на организм человека?

2. Назовите значения пороговых ощутимых и пороговых не отпускающих токов: переменного ($f = 50$ Гц) и постоянного.

3. Какой ток называют фибрилляционным и каково его пороговое значение?

4. Какие факторы влияют на значение электрического сопротивления тела человека?

5. Составьте эквивалентную схему сопротивления тела человека и

поясните физическую сущность элементов, входящих в эту схему.

6. Как можно представить эквивалентную схему сопротивления тела человека постоянному току?

7. Как изменяется сопротивление тела человека с изменением частоты приложенного напряжения? Назовите причину этого изменения.

8. Как изменяется сопротивление тела человека при изменении значения приложенного напряжения? Почему эта зависимость имеет нелинейный характер?

9. Как определяются параметры элементов эквивалентной схемы электрического сопротивления тела человека?

Лабораторная работа № 5

Действие электрического тока на организм человека

Цель и содержание работы

Целью данной работы является определение силы электрического тока через тело человека при прямом и косвенном прикосновении его к частям, находящимся под напряжением.

Теоретическое обоснование

Опасность поражения электрическим током среди прочих опасностей отличается тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить наличие напряжения дистанционно, как например, движущиеся части, раскаленные объекты, открытые люки и т.д. Оно обнаруживается слишком поздно - когда человек уже поражен.

При прохождении электрического тока происходит термическое, биологическое воздействие. Это приводит к различным нарушениям в организме, вызывая местные повреждения тканей органов, так и общее поражение организма.

Электрический ток, проходя через тело человека, при значительной своей величине (более 1А), может вызывать ожоги. В тканях, через которые проходит ток, выделяется некоторое количество тепла, пропорциональное приложенному напряжению и току. Это тепло при больших токах достаточно для нагрева поражаемых тканей до температуры 60 –70 °С, при которой свертывается белок и возникает ожог. Такие ожоги иногда приводят к частичной или полной инвалидности.

В электроустановках напряжением выше 1000 В ожоги могут возникать и без непосредственного контакта с токоведущими частями, а лишь при случайном приближении на опасное расстояние.

Если это расстояние равно разрядному или меньше его, возникает сначала искровой разряд, который переходит в электрическую дугу. Температура дуги достигает 4000 °С и, кроме того, ткани тела человека нагреваются проходящими через них током. Это приводит к ожогу. Под действием тока происходит резкое сокращение мышц, которое приводит к разрыву дуги. Поскольку ток проходит через тело человека кратковременно, нарушений дыхания и кровообращения может не наступить, однако полученные ожоги весьма серьезны, а иногда и смертельны.

В электроустановках до 1000 В возможны также ожоги весьма серьезные электрической дугой. В этом случае дуга возникает между токоведущими частями, а человек попадает в зону действия дуги.

При хорошем контакте с токоведущими частями могут возникнуть электрические знаки (метки тока). Они представляют собой припухлость с затвердевшей в виде мозоли кожей серого или желтовато-белого цвета круглой или овальной формы. Глубокое поражение большого участка живой ткани может привести к нарушению функций поражаемого организма, хотя электрические знаки безболезненны.

Иногда происходит электрометаллизация кожи, т.е. проникновение под поверхность кожи частиц металла вследствие разбрызгивания и испарения его под действием тока, например, при горении дуги. Со временем металл рассасывается, и исход поражения зависит от площади пораженной поверхности кожи.

Электрический удар наблюдается при воздействии малых токов – обычно до нескольких сотен миллиампер и, соответственно, при небольших напряжениях, как правило, до 1000 В. При такой малой мощности выделение тепловой энергии мало. Поэтому не вызывает ожога. Ток действует на нервную систему и на мышцы, причем, может возникнуть паралич пораженных органов. Паралич дыхательных мышц, а также мышц сердца может привести к смертельному исходу.

Степень отрицательного воздействия электрического тока на организм

человека зависит от величины тока, проходящего через него, от рода и частоты тока, а также от длительности воздействия.

Небольшие токи вызывают лишь неприятные ощущения. Если ток имеет величину, достаточную чтобы парализовать мышцы рук, таким образом, действие тока будет длительным.

Ток величиной несколько десятков миллиампер при длительном воздействии (более 15-20 с) приводит к остановке дыхания. Но наиболее опасны остановки и фибрилляция сердца.

Остановка сердца вызывается током в несколько сотен миллиампер при сравнительно малой длительности воздействия (доли секунды), причем мышцы сердца расслабляются и останавливаются. Фибрилляция сердца заключается в беспорядочном сокращении и расслаблении мышечных волокон сердца. Сердце затрачивает значительную энергию, но не производит полезной работы, кровообращение прекращается, сердце истощается и останавливается. Как при остановке, так и при фибрилляции сердца работа его самостоятельно не восстанавливается, необходимо оказание помощи.

Однако следует отметить, что кратковременное действие больших токов – порядка нескольких ампер – не вызовет ни остановки, ни фибрилляции сердца. Сердечная мышца под действием тока резко сокращается и остается в таком же состоянии до отклонения тока, после чего сердце продолжает работать.

На этом принципе основано действие дефибриллятора - прибора для восстановления работы сердца, пораженного электрическим током.

Путем анализа несчастных случаев и многочисленных опытов на животных и людях получены величины постоянного и переменного тока, которые вызывают определенные воздействия на человека, эти величины указаны в таблице 5.1:

Из таблицы 5.1 можно выделить следующие пороговые значения тока:

1. Порог ощущения – наименьшее ощутимо значение тока (0,5-1,6 мА при переменном токе с частотой 50-60 Гц и 5,0-7,0 мА при постоянном токе).

Таблица 5.1 – Величины пороговых токов и характер действия на организм

Ток через человека, мА	Характер воздействия	
	Переменный ток 50-60 Гц	Постоянный ток
0,5 – 1,5	Начало ощущения, легкое дрожание пальцев рук	Не ощущается
2,0 – 3,0	Сильное дрожание пальцев рук	Не ощущается
5,0 – 7,0	Судороги в руках	Зуд. Ощущение нагрева
8,0 – 10,0	Руки трудно, но еще можно оторвать от электродов. Сильные боли в пальцах, кистях рук и предплечьях	Усиление нагрева
20 – 25	Паралич рук, оторвать их от электродов невозможно. Очень сильные боли, дыхание затруднено	Еще большее усиление нагрева. Незначительное сокращение мышц рук.
90 – 100	Остановка дыхания. При длительности 3 сек. и более остановка сердца.	Остановка дыхания

2. Отпускающий ток – наибольшее значение тока, при котором человек в состоянии преодолеть судороги мышц, т.е. самостоятельно освободиться от захваченных электродов (8-10 мА при переменном токе 50-60 Гц и 50-80 мА при постоянном токе).

Токи большой величины называются не отпускающими.

3. Смертельный ток (100 мА и более).

Как видно из таблицы 5.1 опасность поражения тем, больше, чем большее значение тока, проходящего через человека, но эта зависимость не однозначна, так как опасность поражения зависит от многих факторов.

В значительной степени исход поражения зависит от индивидуальных особенностей людей. Ток, вызывающий лишь слабые ощущения у одного человека, может быть не отпускающим для другого. Характер воздействия при одном и том же значении тока зависит от состояния нервной системы человека и всего организма в целом, а также от массы человека и его физического развития.

Данные таблицы 5.1 действительны только для 1,5 % людей, у

остальных те же воздействия вызываются при больших значениях тока.

Весьма важную роль играет продолжительность воздействия электрического тока. Опасность для организма человека тем меньше, чем меньше продолжительность воздействия тока.

При длительном воздействии тока сопротивление тела человека падает, и ток возрастает до значения, способного вызвать остановку дыхания и даже фибрилляцию сердца.

Остановка дыхания возникает не мгновенно, а через несколько секунд, причем, чем больший ток проходит через человека, тем меньше это время. Своевременное отключение пострадавшего позволяет предотвратить паралич дыхательных мышц.

Большое влияние на исход поражения электрическим током оказывает путь тока в теле пострадавшего. Ток в теле человека проходит не обязательно по кратчайшему пути, что объясняется большой разницей в удельном сопротивлении тканей организма (костная, мышечная, жировая и т.д.).

Наименьший ток через сердце проходит при пути тока по нижней петле «нога» - «нога». Однако из этого не следует делать выводы о безопасности нижней петли.

Опасность поражения зависит также от рода и частоты тока.

Переменный ток промышленной частоты (50 Гц) оказывает значительно большее действие, чем постоянный ток, полученный от батареи. Выпрямленный ток оказывается опаснее «чистого» постоянного тока.

Наиболее опасен переменный ток частотой 50 – 60 Гц. При частоте больше 50 Гц опасность тока снижается, т.е. повышаются пороги ощущения тока, однако это свойство становится практически заметным лишь при частотах 10 Гц и ниже, а также 1000 Гц и выше.

Сопротивления тела человека почти полностью определяется сопротивлением верхнего рогового слоя кожи. Сопротивление тела человека меняется в широких пределах в зависимости от ее состояния (сухая, чистая, влажная), плотности контакта, а также от частоты тока и времени воздействия

тока на человека.

Таблица 5.2 – Сопротивления тела человека

Приложенное напряжение, В	6,0	18	75	80	100	175
Сопротивление человека, кОм	6,0	3,0	1,15	1,065	1,0	0,7

Обычно принято считать, что сопротивление тела человека равно 1 кОм. Как видно из таблицы 5.2 сопротивление тела человека около одного кОм наблюдается при не отпускающих токах; при смертельном токе сопротивление снижается до 0,7 кОм. При отпускающем токе сопротивление тела человека обычно не ниже 2 кОм.

Чтобы наметить рациональный комплекс защитных мер и определить необходимые параметры устройств (сопротивление заземления, установку защитного отключения и т.п.), необходимо определить допустимые значения тока, проходящего через человека и напряжения прикосновения, при которых еще возможно обеспечить безопасность.

Величиной допустимого тока следует задаваться, исходя из тех пороговых значений тока, при которых появляется реальная опасность. Так в нормальных условиях, когда человеку не грозят никакие опасности, кроме электрического тока, опасность возникает при не отпускающих токах. При этом человек не в состоянии освободиться от токоведущих частей.

Поэтому недопустимо, чтобы через человека сколько-нибудь длительно проходил ток выше отпускающего. Если ток отпускающий, человек сам в состоянии разорвать цепь и освободиться от тока. Можно считать, что в таких условиях при случайном прикосновении к частям находящимся под напряжением, отпускающий ток не вызывает опасности. Значит, при случайном прикосновении в нормальных условиях наибольший длительно допустимый ток через тело человека равен порогу не отпускающего тока, т.е. 10 мА.

Если человек работает на высоте вблизи движущихся или вращающихся

частей или в других условиях, где резкие, произвольные движения могут привести к несчастному случаю, а иногда к аварии, опасность возникает при токе, превышающем порог ощущения. Поэтому в таких условиях, а также когда человек в процессе работы вынужден иметь контакт с частями, находящимися под напряжением, длительно допустимый ток следует принимать ниже порога ощущения, т.е. не более 0,5 мА.

Достаточно большие токи (несколько десятков миллиампер и более) вызывают фибрилляцию сердца в течение нескольких секунд. Поэтому в качестве кратковременно допустимых токов следует принимать наименьшие токи, вызывающие фибрилляцию сердца в течение соответствующего времени.

Для экспериментального определения на собственном опыте значения порога ощущения и зависимости сопротивления тела человека от рода и величины тока, протекающего через него, а также от приложенного напряжения используется установка Инженерно-производственного центра «Учебная техника».

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде Инженерно-производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

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

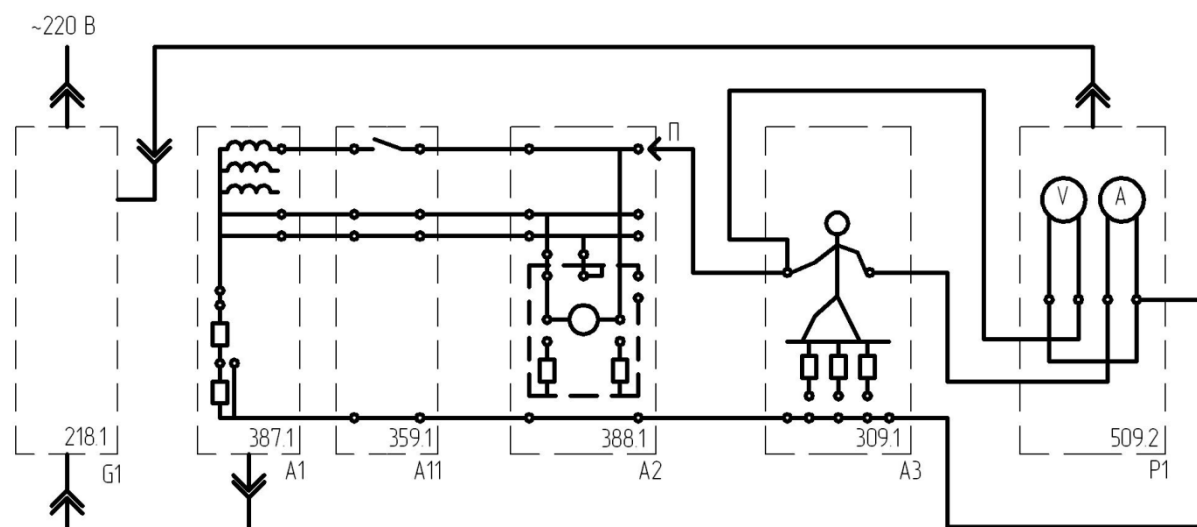
Методика и порядок выполнения работы

5.1 Определение силы электрического тока через тело человека при прямом прикосновении его к частям, находящимся под напряжением

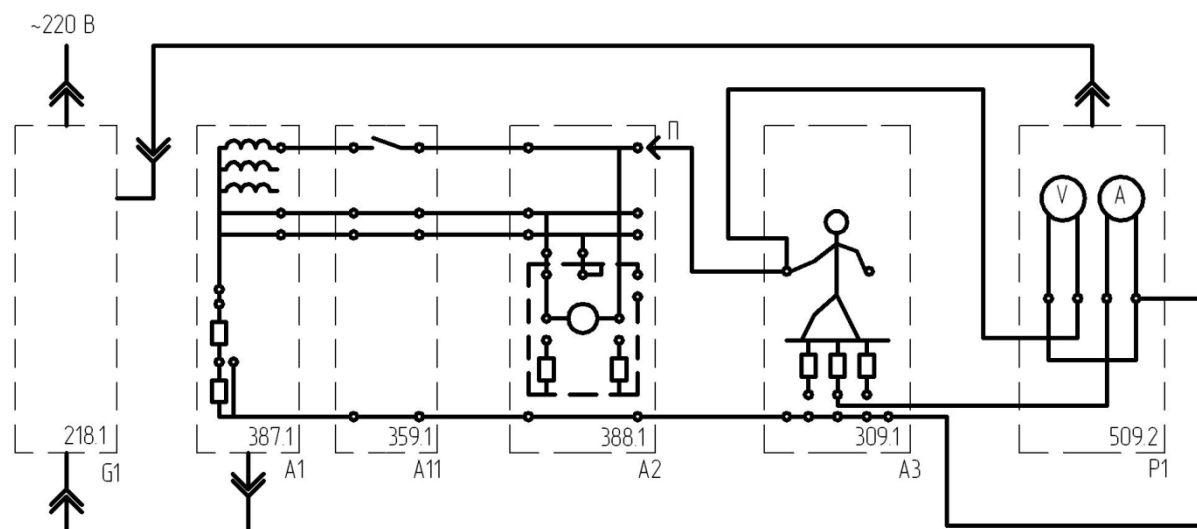
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 5.1.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические 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 рисунке 5.1.
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *P1* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 5.3.
- 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*.

Таблица 5.3 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Рука-рука 1 кОм	Рука-нога 2 кОм	Рука-нога 11 кОм	Рука-нога 101 кОм



а)



б)

Рисунок 5.1 – Схема для определения силы электрического тока через тело человека при прямом его прикосновении его к частям, находящимся под напряжением:

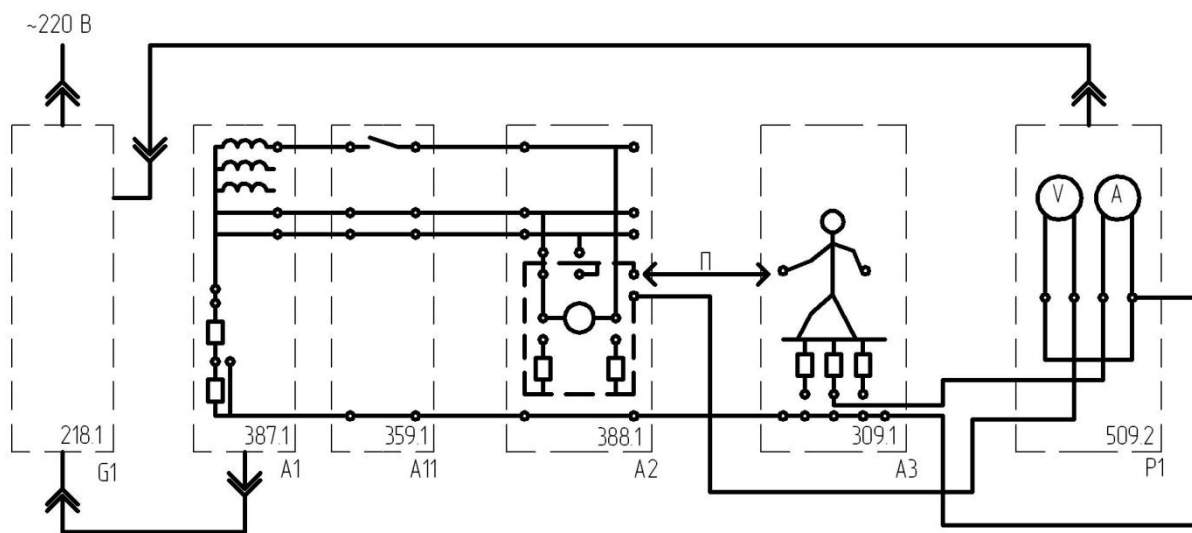
- а) – путь тока в теле человека «рука – рука»;
- б) – путь тока в теле человека «рука – ноги».

5.2 Определение силы электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении его к частям, находящимся под напряжением

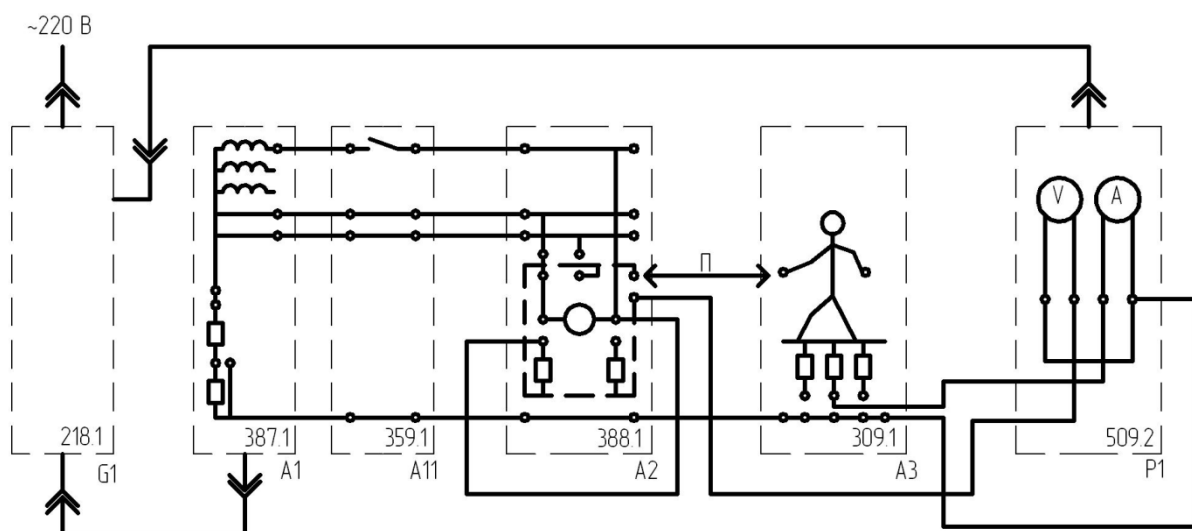
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 5.2 а (5.2 б).
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические 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 косвенное прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, втыканием перемычки (конца проводника) «*П*», в гнездо электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 5.2а (5.2б).

С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *P1* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 5.3.

- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели *A11* и однофазного источника питания *G1*, выключатели «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети и «СЕТЬ» блока мультиметров *P1*.



а)



б)

Рисунок 5.2 – 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 1 Ом.

5.3 Определение электрического сопротивления тела человека

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 5.3 а.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания $G1$.
- Включите выключатель «СЕТЬ» устройства $A6$.
- Активизируйте используемые мультиметры.
- Оперирова кнопками на поле «ГЕНЕРАТОР СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ» по индикатору выстави требуемые напряжения U и его частоту f , согласно варианту по таблице 5.4.
- Приложите ладони рук порознь к двум электродам с площадью контактной поверхности $S = 1250 \text{ мм}^2$ и с верхнего индикатора считайте величину I_h протекающего через тело человека.
- Приложите ладони рук порознь к двум электродам с площадью контактной поверхности $S = 2500 \text{ мм}^2$ и с верхнего индикатора считайте величину I_h протекающего через тело человека.
- Рассчитайте электрическое сопротивление тела человека $Z_h = U / I_h$ в обоих случаях и сделайте вывод о влиянии на него площади контактной поверхности.
- Варьируя частоту f напряжение генератора от 2 кГц до 200 кГц, снимите зависимость от нее тока, протекающего через тело человека $I_h(f)$, для заданного напряжения согласно таблице 5.4.
- Рассчитайте зависимость электрического сопротивления тела человека $Z_h(f) = U / I_h(f)$.
- По завершению эксперимента отключите выключатель «СЕТЬ» устройство $A6$.

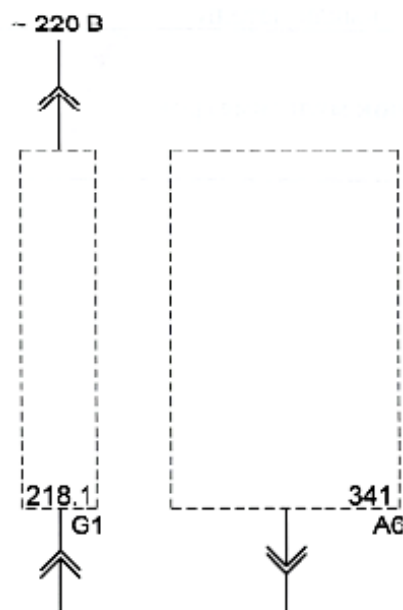


Рисунок 5.3 – Схема для определения электрического сопротивления тела человека

Таблица 5.4 - Варианты заданий

№ варианта	Напряжение, В	Частота, кГц
1	0,5	2
2	1,0	5
3	1,5	10
4	2,0	15
5	2,5	20
6	3,0	40
7	3,5	60
8	4,0	80
9	4,5	100
10	5,0	120
11	5,5	140
12	6,0	160
13	6,5	180
14	7,0	200

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной

работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Величину электрического тока через тело человека при прямом прикосновении его к частям, находящимся под напряжением
3. Величину электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении его к частям, находящимся под напряжением
4. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета и форме устного опроса.

1. Виды поражения человека электрическим током.
2. Перечислить и охарактеризовать величины тока, оказывающие воздействие на человека.
3. Что понимается под понятием не отпускающий ток?
4. Дать анализ напряжению прикосновения при прямом и косвенном прикосновениях.
5. Какая электрическая частота тока является наиболее опасной?
6. С какого момента определяется состояние клинической смерти при поражении электрическим током?
7. Какова последовательность оказания помощи, если пострадавший находится в состоянии клинической смерти и у Вас нет помощника?

Лабораторная работа № 6

Меры защиты человека от поражения электрическим током (часть 1)

Цель и содержание работы

Целью данной работы является определение мер защиты человека от поражения электрическим током при действии защитного зануления, защитного отключения и защитного заземления.

Теоретическое обоснование

Назначение, принцип действия, область применения зануления.

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 (*PE* - 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:

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);

электроустановки напряжением до 1 кВ в однофазных сетях переменного тока с заземленным выводом;

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 (рисунок 6.1), 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.

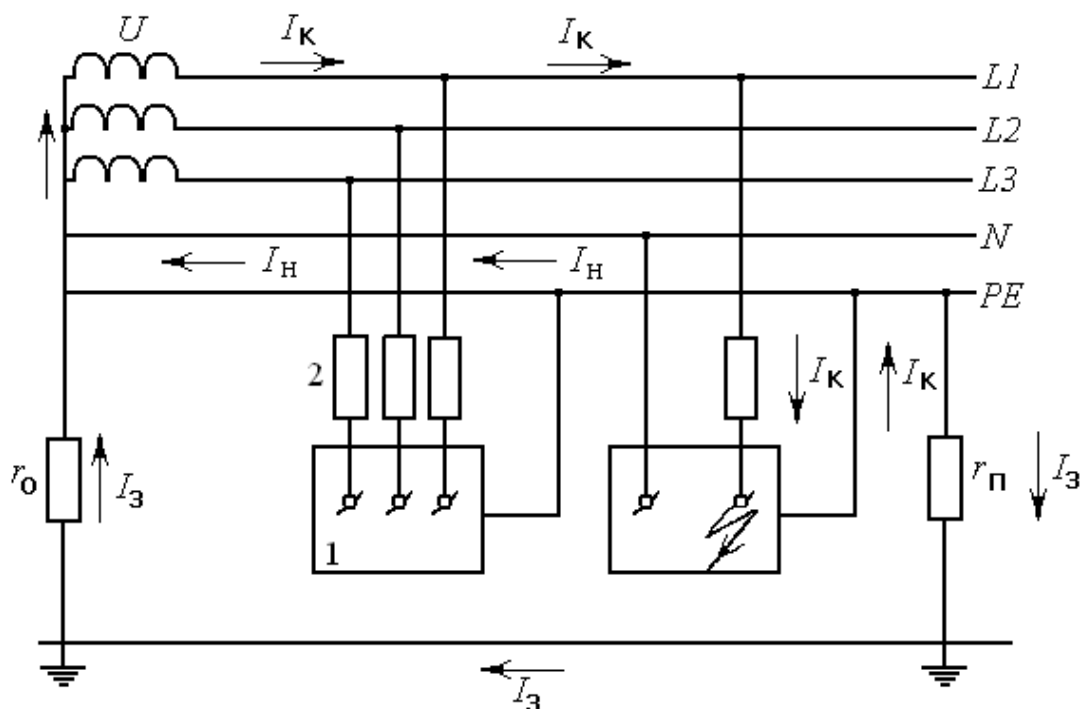


Рисунок 6.1 – Принципиальная схема зануления в системе $TN - S$

1 – корпус электроустановки (электродвигатель, трансформатор и т. п.);
 2 – аппараты защиты от токов КЗ (предохранители); R_0 – сопротивление заземления нейтрали обмотки источника тока; $R_{п}$ – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника; I_k – ток КЗ; I_n – часть тока КЗ, протекающего через нулевой защитный проводник; I_3 – часть тока КЗ, протекающего через землю – корпус электроустановки (электродвигатель, трансформатор и т. п.);

Следовательно, зануление обеспечивает защиту от поражения электрическим током при замыкании на корпус за счет ограничения времени прохождения тока через тело человека и за счет снижения напряжения прикосновения.

В качестве максимальной токовой защиты, обеспечивающей быстрое отключение электроустановки в аварийном режиме могут использоваться

плавкие предохранители и автоматические выключатели, устанавливаемые для защиты от токов короткого замыкания, магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой, контакторы в сочетании с тепловыми реле, осуществляющие защиту от перегрузки, автоматы с комбинированными расцепителями, осуществляющие защиту одновременно от токов короткого замыкания и перегрузки и др.

Назначение отдельных элементов схемы зануления. Из рисунка 6.1 видно, что для схемы зануления необходимы нулевой защитный проводник, глухое заземление нейтрали источника тока и повторное заземление нулевого защитного проводника.

Рассмотрим назначение этих элементов применительно к наиболее распространенным электрическим сетям – трехфазным переменного тока.

Назначение нулевого защитного проводника в схеме зануления – обеспечить необходимое для отключения установки значение тока однофазного короткого замыкания путем создания для этого тока цепи с малым сопротивлением.

Назначение заземления нейтрали обмоток источника тока, питающего сеть до 1 кВ, предназначено для снижения напряжения зануленных открытых проводящих частей (а следовательно, нулевого защитного проводника) относительно земли до допустимого значения при замыкании фазного провода на землю.

Повторное заземление нулевого защитного проводника практически не влияет на время отключения электроустановки от сети. Однако, при эксплуатации зануления могут возникнуть такие ситуации, когда повторное заземление нулевого защитного проводника необходимо, например, при обрыве нулевого защитного проводника. При применении системы *TN* рекомендуется выполнять повторное заземление *PE* – и *PEN* – проводников на вводе в электроустановки зданий, а также в других доступных местах. Для повторного заземления нулевых защитных проводников следует в первую очередь использовать естественные заземлители. В этом случае

сопротивление растеканию тока заземлителя повторного заземления не нормируется. Внутри больших и многоэтажных зданий аналогичную функцию выполняет уравнивание потенциалов посредством присоединения нулевого защитного проводника к главной заземляющей шине.

Повторному заземлению подвергаются нулевые рабочие провода воздушных линий, которые одновременно используются как нулевые защитные проводники (*PEN* – проводники). При этом в соответствии с ПУЭ повторные заземления выполняются на концах линий или ответвлений длиной более 200 м. При этом в первую очередь следует использовать естественные заземлители, например, подземные части опор, а также заземляющие устройства, предназначенные для грозовых перенапряжений.

Надежность зануления определяется в основном надежностью нулевого защитного проводника. В связи с этим требуется тщательная прокладка нулевого защитного проводника, чтобы исключить возможность его обрыва. Кроме того, в нулевом защитном проводнике запрещается ставить выключатели, предохранители и другие приборы, способные нарушить его целостность.

При соединении нулевых защитных проводников между собой должен обеспечиваться надежный контакт. Присоединение нулевых защитных проводников к частям электроустановок, подлежащих занулению, осуществляется сваркой или болтовым соединением, причем, значение сопротивления между зануляющим болтом и каждой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью электроустановки, которая может оказаться под напряжением, не должно превышать 0,1 Ом. Присоединение должно быть доступно для осмотра.

Нулевые защитные провода и открыто проложенные нулевые защитные проводники должны иметь отличительную окраску: по зеленому фону желтые полосы.

В процессе эксплуатации зануления сопротивление петли “фаза-нуль” может меняться, следовательно, необходимо периодически контролировать

значение этого сопротивления. Измерения сопротивления петли «фаза-нуль» проводят как после окончания монтажных работ, то есть при приемосдаточных испытаниях, так и в процессе эксплуатации в сроки, установленные в нормативно технической документации, а также при проведении капитальных ремонтов и реконструкций сети.

Расчет зануления имеет целью определить условия, при которых оно надежно выполняет возложенные на него задачи – быстро отключает поврежденную установку от сети и в то же время обеспечивает безопасность прикосновения человека к зануленному корпусу в аварийный период. В соответствии с этим зануление рассчитывают на отключающую способность. При этом в соответствии с ПУЭ должны выполняться следующие требования.

Допускаются значения времени отключения не более 5 с в цепях, питающих только стационарные электроприемники от распределительных щитков или щитов при выполнении одного из следующих условий:

1) полное сопротивление защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком не превышает значения, Ом

$$50 \cdot Z_{\Sigma} / U, \quad (6.1)$$

где Z_{Σ} – полное сопротивление цепи «фаза – нуль», Ом;

U – номинальное фазное напряжение сети, В;

50 – падение напряжения на участке защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком, В.

2) к шине PE распределительного щита или щитка присоединена дополнительная система уравнивания потенциалов, охватывающая те же сторонние проводящие части, что и основная система уравнивания потенциалов.

Расчет зануления на отключающую способность заключается в определении параметров нулевого защитного проводника (длина, сечение, материал) и максимальной токовой защиты, при которых ток однофазного короткого замыкания, возникающий при замыкании фазного провода на

зануленный корпус, вызвал бы срабатывание максимальной токовой защиты.

Назначение, принцип действия, область применения УЗО

Защитным отключением называется автоматическое отключение электроустановок при однофазном (однополюсном) прикосновении к частям, находящимся под напряжением, недопустимым для человека, и (или) при возникновении в электроустановке тока утечки (замыкания), превышающего заданные значения.

Назначение защитного отключения - обеспечение электробезопасности, что достигается за счет ограничения времени воздействия опасного тока на человека. Защита осуществляется специальным устройством защитного отключения (УЗО), которое, работая в дежурном режиме, постоянно контролирует условия поражения человека электрическим током.

Область применения: электроустановки в сетях с любым напряжением и любым режимом нейтрали.

Наибольшее распространение защитное отключение получило в электроустановках, используемых в сетях напряжением до 1 кВ с заземленной или изолированной нейтралью.

Принцип работы УЗО состоит в том, что оно постоянно контролирует входной сигнал и сравнивает его с наперед заданной величиной (уставкой). Если входной сигнал превышает уставку, то устройство срабатывает и отключает защищенную электроустановку от сети. В качестве входных сигналов устройств защитного отключения используют различные параметры электрических сетей, которые несут в себе информацию об условиях поражения человека электрическим током.

Все УЗО по виду входного сигнала классифицируют на несколько типов (рисунок 6.2).

Кроме того, УЗО могут классифицироваться по другим критериям, например, по конструктивному исполнению.

Основными элементами любого устройства защитного отключения являются датчик, преобразователь и исполнительный орган.



Рисунок 6.2 – Классификация УЗО по виду входного сигнала

Основными параметрами, по которым подбирается то или иное УЗО являются: номинальный ток нагрузки, т.е. рабочий ток электроустановки, который протекает через нормально замкнутые контакты УЗО в дежурном режиме; номинальное напряжение; уставка; время срабатывания устройства.

Рассмотрим более подробно УЗО, реагирующее на потенциал корпуса относительно земли, предназначенное для обеспечения безопасности при возникновении на заземленном (или зануленном) корпусе электроустановки повышенного потенциала. Датчиком в этом устройстве (рисунок 6.3) служит реле P , обмотка которого включена между корпусом электроустановки и вспомогательным заземлителем R_6 . Электроды вспомогательного заземлителя R_6 располагаются вне зоны растекания токов заземлителя R_3 .

При замыкании на корпус защитное заземление R_3 снизит потенциал корпуса относительно земли до величины $U_3 = I_3 \cdot R_3$. Если по каким-либо причинам окажется, что $U_3 > U_{здоп}$, где $U_{здоп}$ - потенциал корпуса, при котором напряжение прикосновения не превышает допустимого, то срабатывает реле P , которое своими контактами замкнет цепь питания катушки коммутационного аппарата и произойдет отключение поврежденной электроустановки от сети.

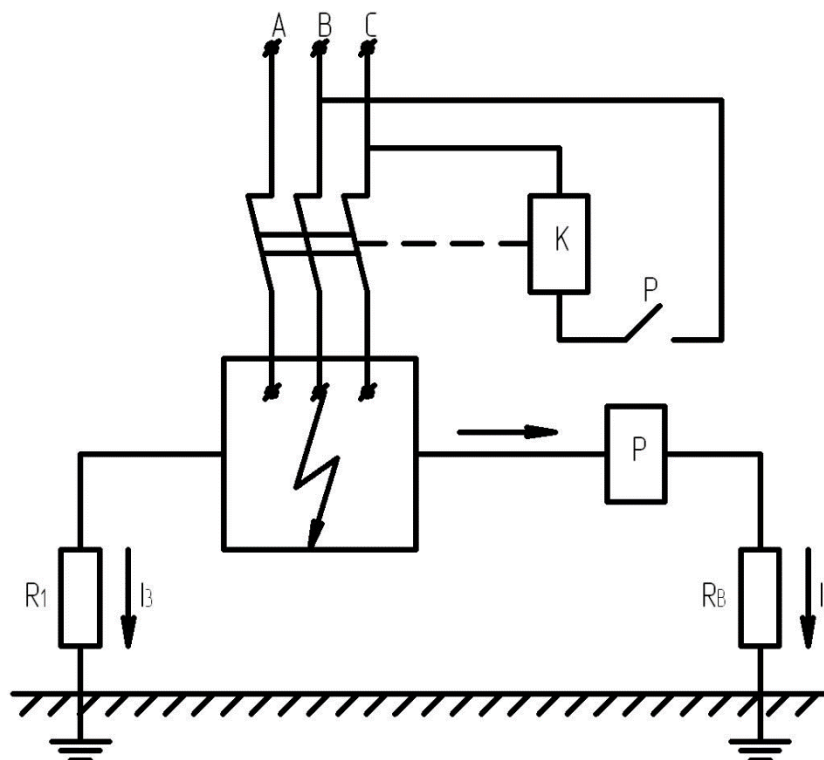


Рисунок 6.3 – Схема УЗО, реагирующего на потенциал корпуса

Фактически данный тип УЗО дублирует защитные свойства заземления или зануления и применяется в качестве дополнительной защиты, повышая надежность заземления или зануления.

Данный тип УЗО может применяться в сетях с любым режимом нейтрали, когда заземление или зануление неэффективно.

УЗО, реагирующее на дифференциальный (остаточный) ток, находят широкое применение во всех отраслях промышленности. Характерной их особенностью является многофункциональность. Такие УЗО могут осуществлять защиту человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении, при косвенном прикосновении, при несимметричном снижении изоляции проводов относительно земли в зоне защиты устройства, при замыканиях на землю и в других ситуациях.

Принцип действия УЗО дифференциального типа заключается в том, что оно постоянно контролирует дифференциальный ток и сравнивает его с уставкой. При превышении значения дифференциального тока уставки УЗО срабатывает и отключает аварийный потребитель электроэнергии от сети.

Входным сигналом для трехфазных УЗО является ток нулевой последовательности. Входной сигнал УЗО функционально связан с током, протекающим через тело человека I_h .

Область применения УЗО дифференциального типа – сети с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ (система $TN-S$).

Схема включения УЗО, реагирующего на дифференциальный ток в сети с заземленной нейтралью типа $TN-S$ представлена на рисунке 6.4.

Датчиком такого устройства является трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП), на выходных обмотках которого формируется сигнал, пропорциональный току через тело человека I_h . Преобразователь УЗО (П) сравнивает значение входного сигнала с уставкой, значение которой определяется допустимым током через человека, усиливает входной сигнал до уровня, необходимого для управления исполнительным органом (ИО).

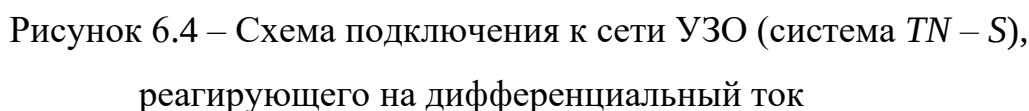
Исполнительный орган, например, контактор, отключает электроустановку от сети в случае возникновения опасности поражения электрическим током в зоне защиты УЗО.

Назначение, принцип действия, область применения защитного заземления

Защитное заземление – 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 соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т. п.).

Эквивалентом земли может быть вода реки или моря, каменный уголь в карьерном залегании и т. п.

Назначение защитного заземления — устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и другим нетоковедущим металлическим частям, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.



Заземление молниезащиты – преднамеренное соединение с землей молниеприемников и разрядников в целях отвода от них токов молнии в землю.

101

корпус и другими причинами. Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования (уменьшением сопротивления заземлителя), а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования (подъемом потенциала основания, на котором стоит человек, до значения, близкого к значению потенциала заземленного оборудования).

Рассмотрим два случая. Корпус электроустановки не заземлен. В этом случае прикосновение к корпусу электроустановки также опасно, как и прикосновение к фазному проводу сети.

Корпус электроустановки заземлен (рисунок 6.5). В этом случае напряжение корпуса электроустановки относительно земли уменьшится и станет равным:

$$U_3 = I_3 \cdot R_3 \quad (6.2)$$

Напряжение прикосновения и ток через тело человека в этом случае будут определяться по формулам:

$$U_h = I_3 \cdot R_3 \cdot \alpha_1 \quad (6.3)$$

где α_1 – коэффициент напряжения прикосновения.

Уменьшая значение сопротивления заземлителя растеканию тока R_3 , можно уменьшить напряжение корпуса электроустановки относительно земли, в результате чего уменьшаются напряжение прикосновения и ток через тело человека.

Заземление будет эффективным лишь в том случае, если ток замыкания на землю I_3 практически не увеличивается с уменьшением сопротивления заземлителя. Такое условие выполняется в сетях с изолированной нейтралью (типа IT) напряжением до 1 кВ, так как в них ток замыкания на землю в основном определяется сопротивлением изоляции проводов относительно земли, которое значительно больше сопротивления заземлителя (рисунок 6.5).

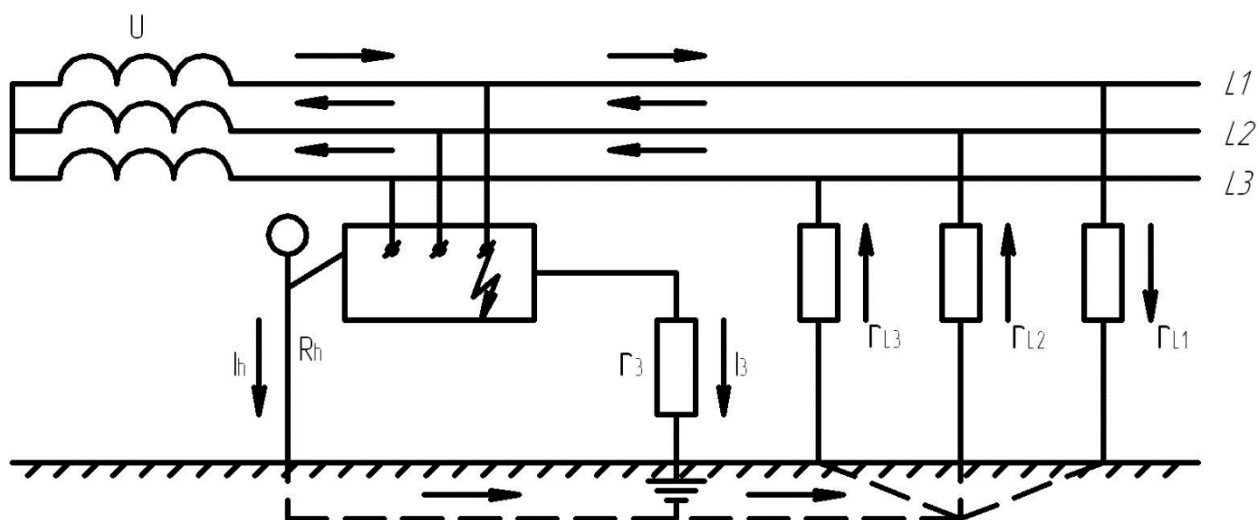


Рисунок 6.5 – Схема сети с изолированной нейтралью (типа *IT*) и защитным заземлением электроустановки

В сетях переменного тока с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ защитное заземление в качестве основной защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении не применяется, т.к. оно не эффективно (рисунок 6.6).

Область применения защитного заземления:

- электроустановки напряжением до 1 кВ в трехфазных трехпроводных сетях переменного тока с изолированной нейтралью (система *IT*);
- электроустановки напряжением до 1 кВ в однофазных двухпроводных сетях переменного тока, изолированных от земли;
- электроустановки напряжением до 1 кВ в двухпроводных сетях постоянного тока с изолированной средней точкой обмоток источника тока (система *IT*);
- электроустановки в сетях напряжением выше 1 кВ переменного и постоянного тока с любым режимом нейтрали или средней точки обмоток источников тока.

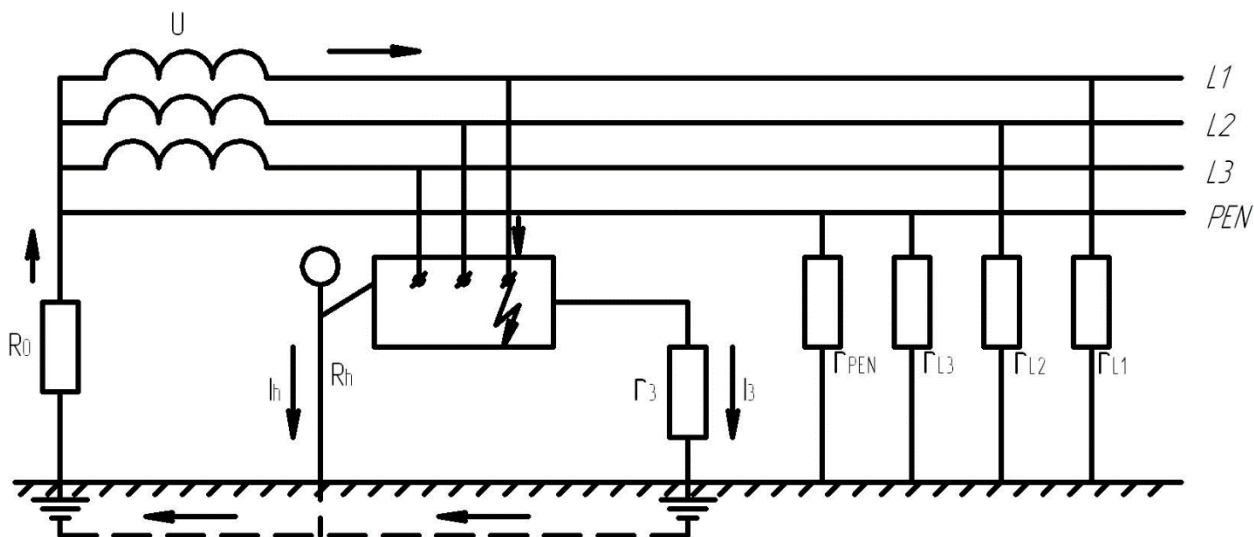


Рисунок 6.6 – Схема сети с заземленной нейтралью и защитным заземлением потребителя электроэнергии

Типы заземляющих устройств

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляемого оборудования различают два типа заземляющих устройств: выносное и контурное.

Выносное заземляющее устройство (рисунок 2.7) характеризуется тем, что заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование, или сосредоточен на некоторой части этой площадки. Поэтому выносное заземляющее устройство называют также сосредоточенным.

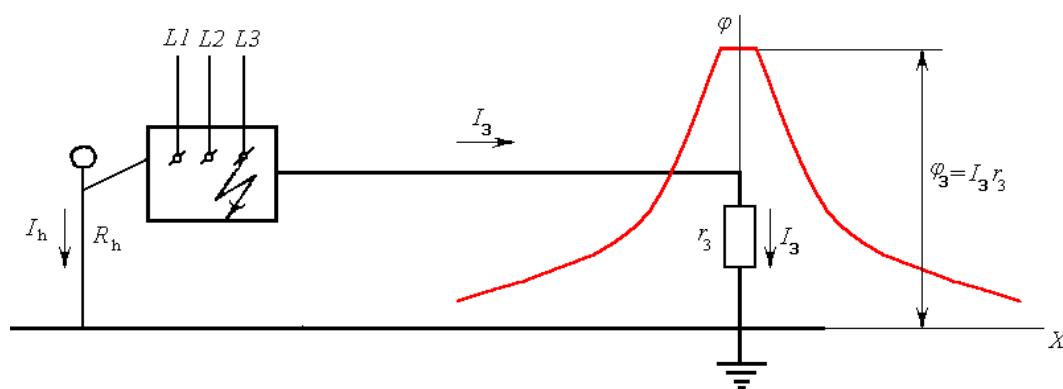


Рисунок 6.7 – Выносное заземляющее устройство

Существенный недостаток выносного заземляющего устройства – отдаленность заземлителя от защищаемого оборудования, вследствие чего на всей или на части защищаемой территории коэффициент прикосновения $\alpha_1=1$. Поэтому заземляющие устройства этого типа применяются лишь при малых токах замыкания на землю, в частности в установках до 1000 В, где потенциал заземлителя не превышает значения допустимого напряжения прикосновения $U_{пр.доп}$ (с учетом коэффициента напряжения прикосновения, учитывающего падение напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек, α_2):

$$\varphi = I_3 \cdot r_3 \leq U_{пр.доп} \quad (6.4)$$

где I_3 – ток, стекающий в землю через заземляющее устройство;

r_3 – сопротивление растеканию тока заземляющего устройства.

Кроме того, при большом расстоянии до заземлителя может значительно возрасти сопротивление заземляющего устройства в целом за счет сопротивления заземляющего проводника.

Достоинством выносного заземляющего устройства является возможность выбора места размещения электродов заземлителя с наименьшим сопротивлением грунта (сырой, глинистый, в низинах и т. п.).

Необходимость в устройстве выносного заземления может возникнуть в следующих случаях:

- при невозможности по каким-либо причинам разместить заземлитель на защищаемой территории;
- при высоком сопротивлении земли на данной территории (например, песчаный или скалистый грунт) и наличии вне этой территории мест со значительно лучшей проводимостью земли;
- при рассредоточенном расположении заземляемого оборудования (например, в горных выработках) и т. п.

Контурное заземляющее устройство (рисунок 6.8) характеризуется тем, что электроды его заземлителя размещаются по контуру (периметру) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, а также внутри

этой площадки. Часто электроды распределяются на площадке по возможности равномерно, и поэтому контурное заземляющее устройство называется также распределенным.

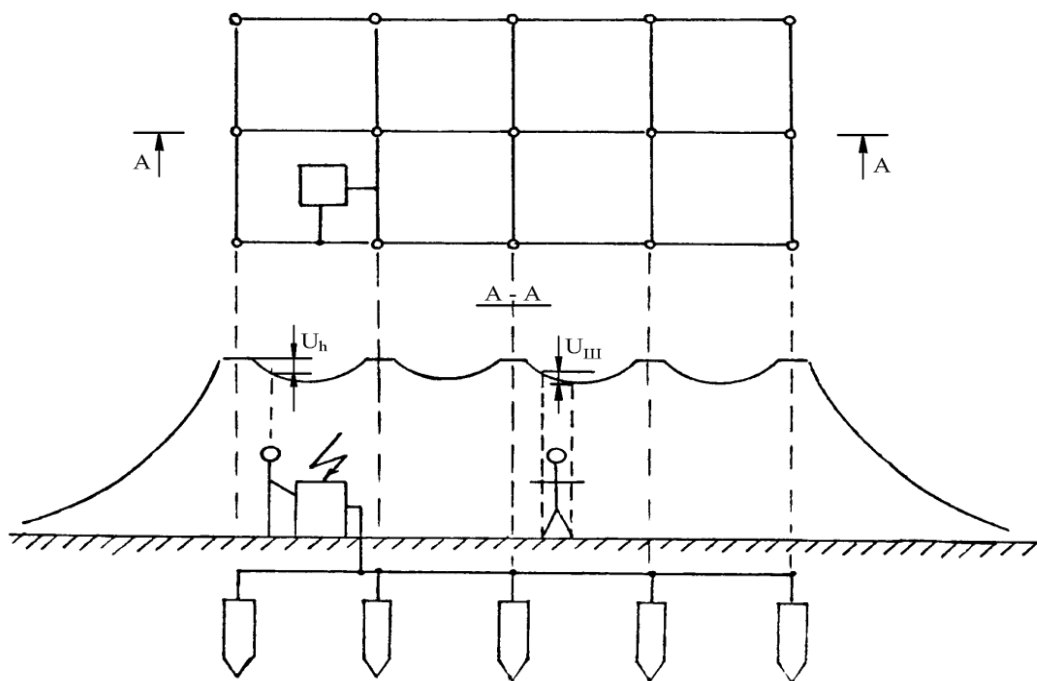


Рисунок 6.8 – Контурное заземляющее устройство

Безопасность при распределенном заземляющем устройстве может быть обеспечена не только уменьшением потенциала заземлителя, но и выравниванием потенциалов на защищаемой территории до таких значений, чтобы максимальные напряжения прикосновения и шага не превышали допустимых. Это достигается за счет соответствующего размещения одиночных заземлителей на защищаемой территории.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде Инженерно-производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Однофазный источник питания	218.1	-220 В /16 А
<i>A1</i>	Модель питающей электрической сети	387.1	-220 В /50 ВА
<i>A2</i>	Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1	-220 В
<i>A3</i>	Модель человека	309.1	- 220 В /1 кОм*
<i>A5</i>	Устройство защитного отключения	321.1	-220 В /16 А/ 10 мА
<i>A7</i>	Модель участка электрической сети	303.1	-220 В /0,5 А
<i>A8</i>	Модель заземлителя	390	-220 В / 2,10,100,10000 Ом
<i>A11</i>	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	- 220 В / 0,5 А
<i>P1</i>	Блок мультиметров	509.2	2 мультиметра 0...1000 В= 0...10 А~; 0...20МОм

Методика и порядок выполнения работы

6.1 Действие защитного зануления

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 6.9 а.
- 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 *АН*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*.

- Смоделируйте косвенное прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, втыканием перемычки «II», как это показано на рисунке 6.9 а.

- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *PI* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 6.1.

- Отключите автоматический выключатель *АII*.
- Удалите перемычку «II».
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 6.9 б.

- Включите автоматический выключатель *АII*.
- Смоделируйте косвенное прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, втыканием перемычки «II», как это показано на рисунке 6.9 б.

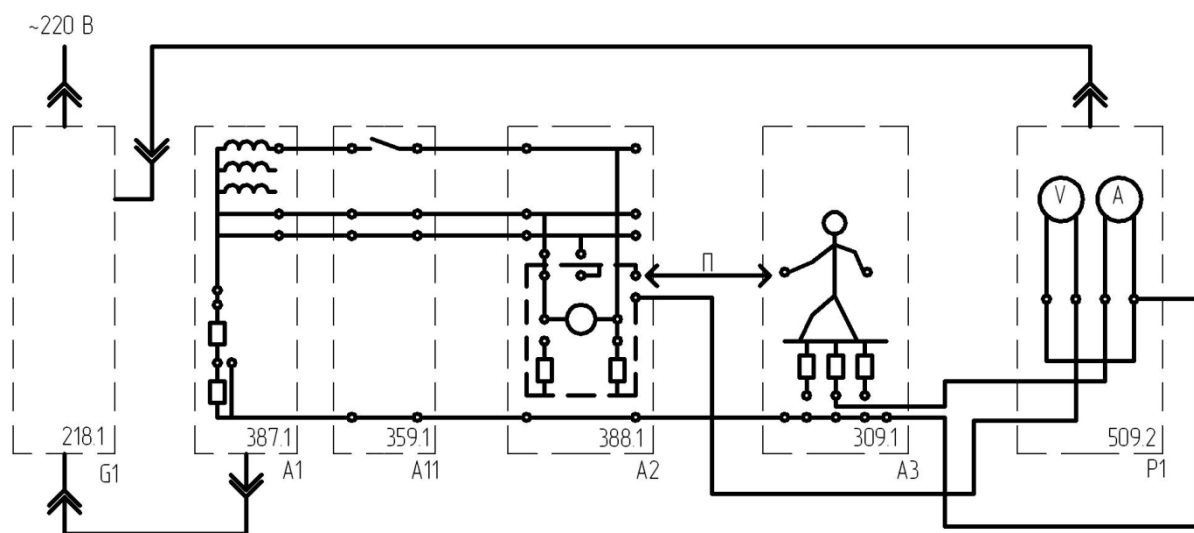
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *PI* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 6.1.

- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели *АН* и однофазного источника питания *G1*, выключатели «ПИТАНИЕ» модели *АI* питающей электрической сети и «СЕТЬ» блока мультиметров *PI*.

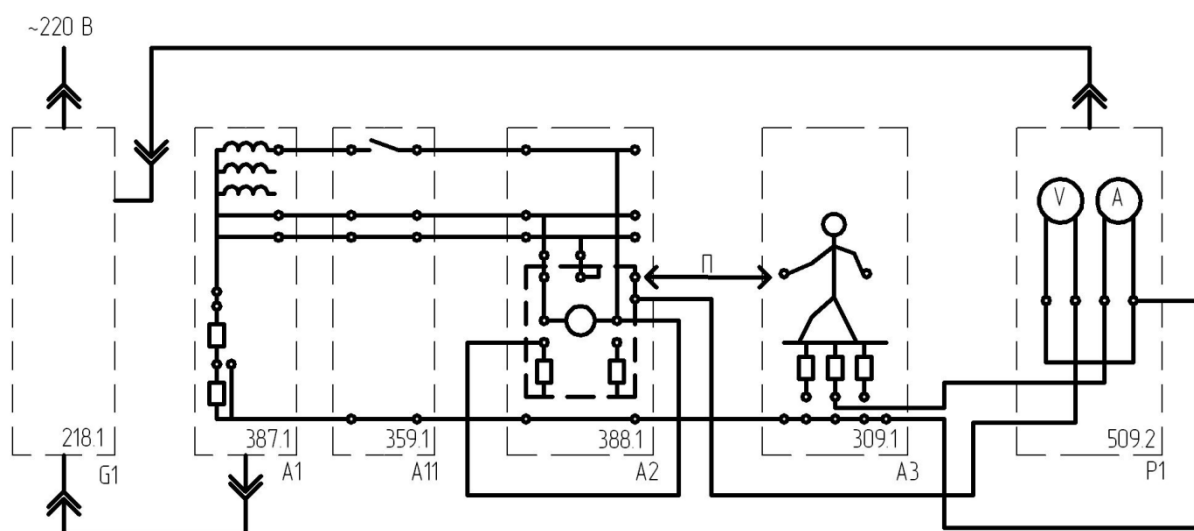
- Сопоставьте измеренные значения токов и напряжений и сделайте вывод о наличии или отсутствии защитного действия зануления.

Таблица 6.1 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Рука-рука 1 кОм	Рука-нога 2 кОм	Рука-нога 11 кОм	Рука-нога 101 кОм



а



б

Рисунок 6.9 – Схема для выявления действия защитного зануления:

а – без зануления электроприемника;

б – с занулением электроприемника

6.2 Защитное действие устройства автоматического отключения питания при сверхтоках

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений приведенной на рисунке 6.10.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели А1

питающей электрической сети. Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.

- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*.
- Смоделируйте нарушение изоляции электроприемника *A2* втыканием конца проводника «*И*». В его гнездо, как это показано на рисунке 6.10. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 6.1. При этом автоматический выключатель *A11* должен отключиться, подтверждая, тем самым, свое защитное действие.
- По завершении эксперимента отключите автоматический выключатель однофазного источника питания *G1* и выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.

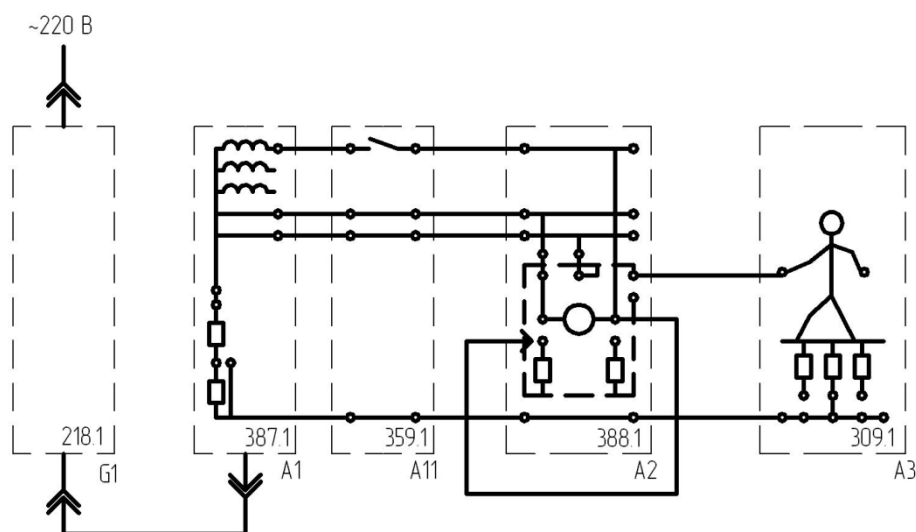


Рисунок 6.10 – Схема для выявления защитного действия устройства автоматического отключения питания при сверхтоках

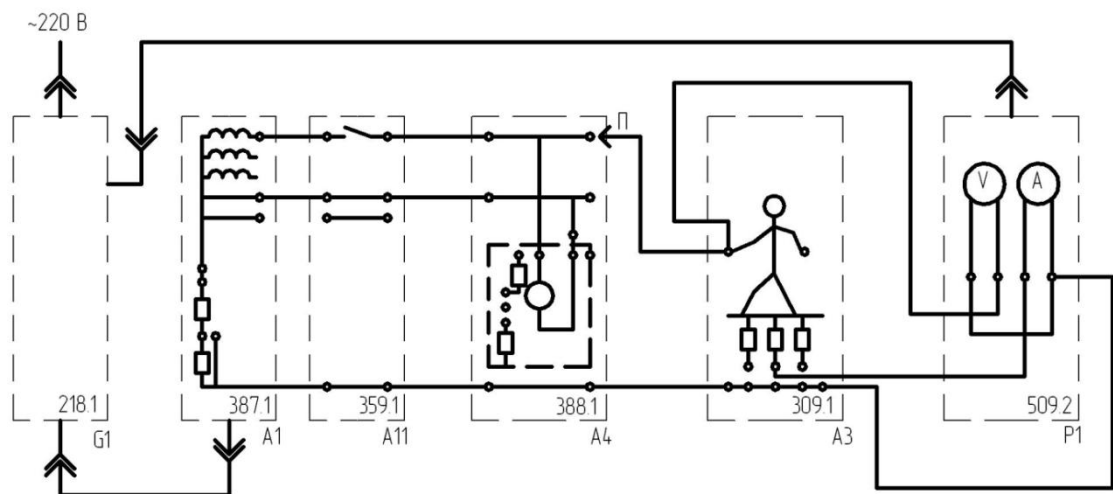
6.3 Действие устройства защитного отключения

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 6.11 а.

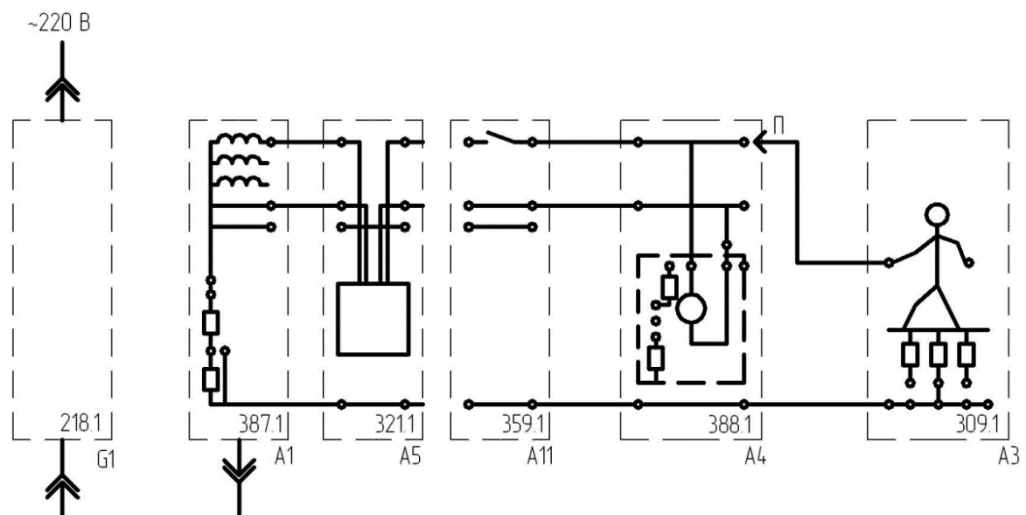
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» блока мультиметров *P1*.
- Активизируйте используемые мультиметры.
- Включите выключатель «СЕТЬ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A4*.
- Смоделируйте прямое прикосновение человека к частям, находящимся под напряжением, втыканием конца проводника «*П*», в гнездо электроприемника *A4*, как это показано на рисунке 6.11 а.
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *P1* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 6.1.
- Отключите автоматические выключатели *АН* и однофазного источника питания *G1*, выключатели «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети и «СЕТЬ» блока мультиметров *P1*.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 6.11 б.
- Включите автоматические выключатели в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A4*.
- Смоделируйте прямое прикосновение человека к частям,

находящимся под напряжением, втыканием конца проводника «П», в гнездо электроприемника *A4*, как это показано на рисунке 6.11 б. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 6.1. При этом должно отключиться устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, свое защитное действие.

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



а



б

Рисунок 6.11 – Схема для выявления действия устройства защитного отключения:

- а – без устройства защитного отключения;
- б – с устройством защитного отключения

6.4 Действие защитного заземления

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 6.12 а.
- 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 *A4*.
- Смоделируйте повреждение изоляции электроприемника *A2* втыканием конца проводника «*II*», в его гнездо, как это показано на рисунке 6.12 а.
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *P1* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 6.1.
- Отключите автоматические выключатели *АН* и однофазного источника питания *G1*, выключатели «СЕТЬ» модели *A1* питающей электрической сети и блока мультиметров *P1*.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 6.12 б.
- Включите автоматические выключатели в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A4*.

- Смоделируйте повреждение изоляции электроприемника *A2* втыканием конца проводника «*II*», в его гнездо, как это показано на рисунке 6.12 б.

- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *P1* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 6.1.

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

- Сопоставьте измеренные токи через тело человека и убедитесь в действии защитного заземления.

- Измерения провести при сопротивлении заземлителя *A8*, равном 100 и 10000 Ом.

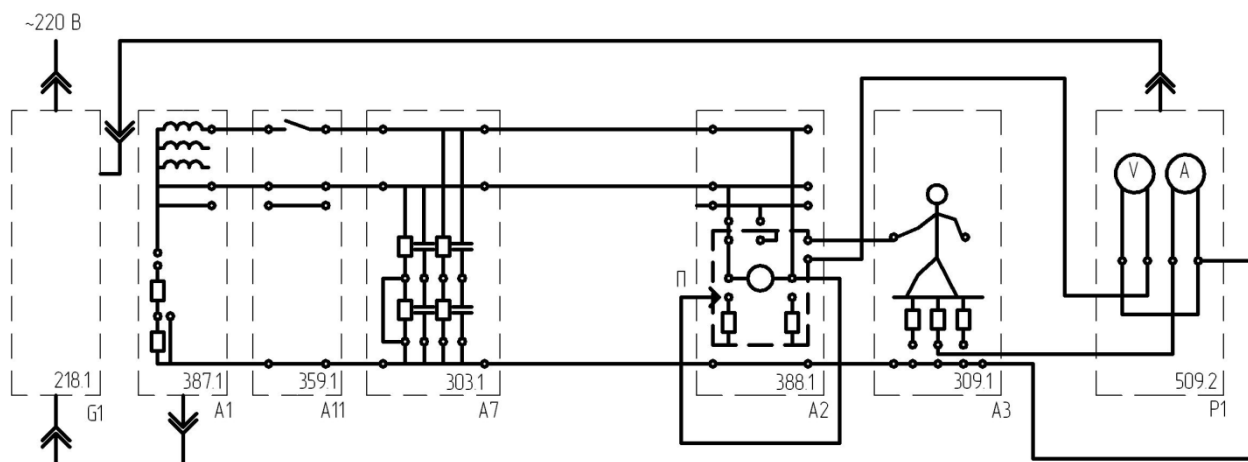


Рисунок 6.12 а – Схема для выявления действия защитного заземления
(без защитного заземления)

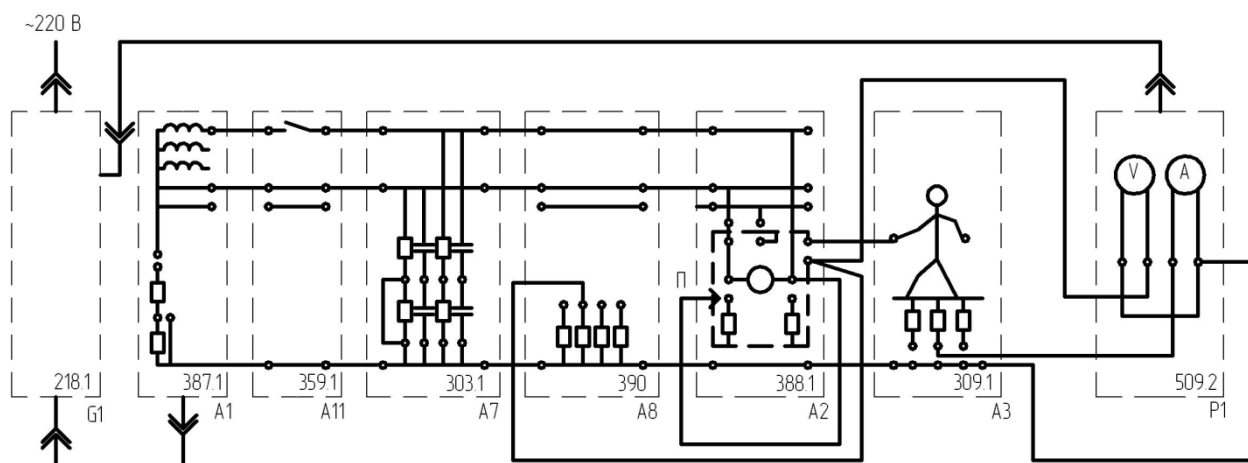


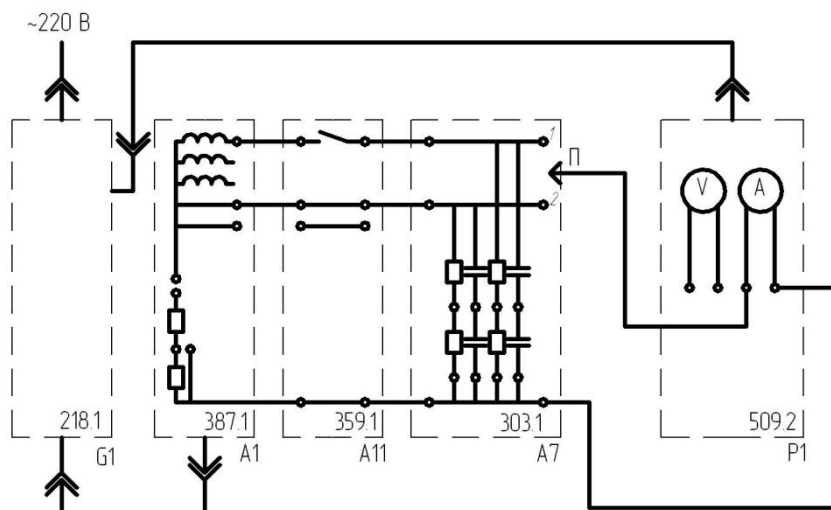
Рисунок 6.12 б – Схема для выявления действия защитного заземления
(с защитным заземлением)

6.5 Контроль изоляции фаз в сети с изолированной нейтралью

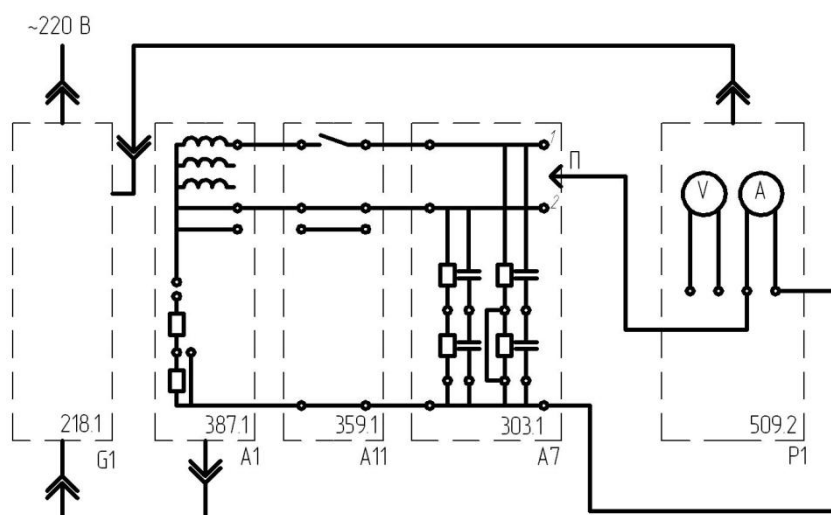
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 6.13 а (б).
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите 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*.
- Воткните конец проводника «П» в гнездо 1 (2) модели *A7*.
- С помощью амперметра блока мультиметров *P1* измерьте ток.
- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели однофазного источника питания *G1* и *АН*, а также - выключатель «ПИТАНИЕ» питающей электрической сети *A1* и блока мультиметров *P1*.

Сопоставьте измеренные в схемах 6.13 а и 6.13 б токи и сделайте вывод

о состоянии изоляции токоведущих частей в сети с изолированной нейтралью.



а



б

Рисунок 6.13 – Схема для контроля изоляции фаз в сети с изолированной нейтралью:

а – с нормальной изоляцией;

б – с поврежденной изоляцией

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы. защитного отключения
2. Действие защитного зануления, заземления и защитного отключения
3. Величину электрического тока через тело человека при косвенном прикосновении его к частям, находящимся под напряжением
4. Защитное действие устройства автоматического отключения питания при сверхтоках
5. Контроль изоляции фаз в сети с изолированной нейтралью
6. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета и форме устного опроса.

1. Объясните принцип действия зануления.
2. Объяснить назначение зануления и его применение.
3. Объяснить порядок расчета зануления.
4. Объясните принцип действия заземления.
5. Объяснить назначение заземления и его конструктивное исполнение.
6. Нормирование защитного заземления.
7. Расчет защитного заземления.
8. Назначение устройств защитного отключения.
9. Классификация УЗО по виду входного сигнала.
10. Принцип действия УЗО дифференциального типа.
11. Основные параметра УЗО дифференциального типа.

Лабораторная работа № 7

Меры защиты человека от поражения электрическим током (часть 2)

Цель и содержание работы

Целью данной работы является определение мер защиты человека от поражения электрическим током при действии двойной изоляции электроприемника, защитного действия повторного заземления нулевого защитного проводника, защитного действия малого напряжения и защитного действия электрического разделения цепей.

Теоретическое обоснование

Теоретические сведения смотри лабораторную работу № 6

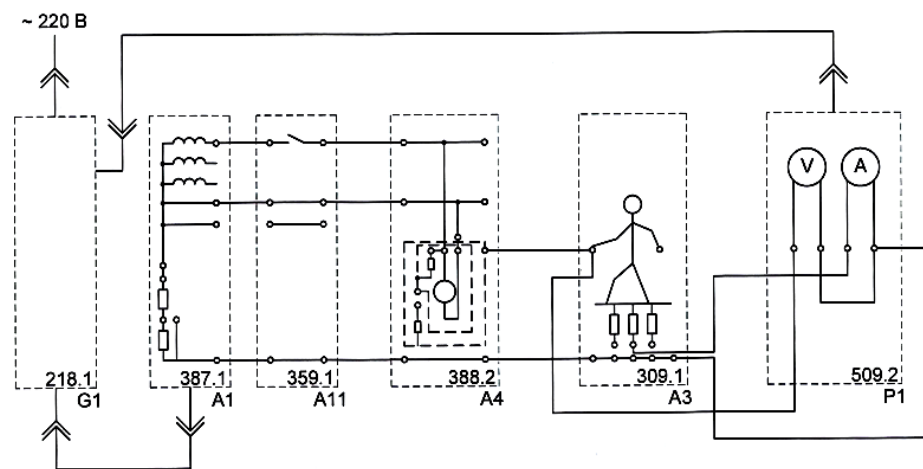
Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Однофазный источник питания	218.1	-220 В /16 А
<i>A1</i>	Модель питающей электрической сети	387.1	-220 В /50 ВА
<i>A2</i>	Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1	-220 В
<i>A3</i>	Модель человека	309.1	- 220 В /1 кОм
<i>A5</i>	Устройство защитного отключения	321.1	-220 В /16 А/ 10 мА
<i>A7</i>	Модель участка электрической сети	303.1	-220 В /0,5 А
<i>A8</i>	Модель заземлителя	390	-220 В / 2,10,100,10000 Ом
<i>A11</i>	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	- 220 В / 0,5 А
<i>P1</i>	Блок мультиметров	509.2	2 мультиметра 0...1000 В= 0...10 А~; 0...20МОм

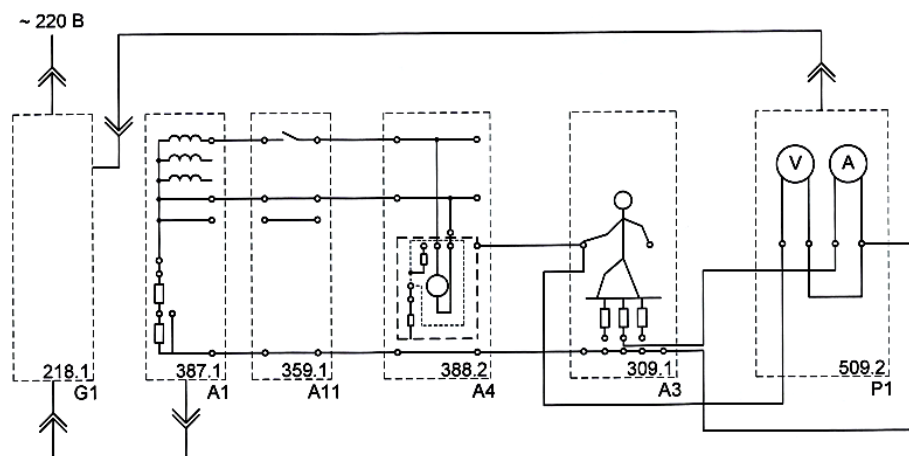
Методика и порядок выполнения работы

7.1 Защитное действие двойной изоляции электроприемника

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений приведенной на рисунке 7.1.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.



а)



б)

Рисунок 7.1 – Схема для выявления защитного действия двойной изоляции электроприемника

а) при снижении основной изоляции электроприемника до 7,5 кОм

б) при снижении дополнительной изоляции электроприемника до 7,5 кОм

- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока мультиметров *P1*
- Активируйте используемые мультиметры.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A4*
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *P1* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 7.1.
- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели *A11* однофазного источника питания *G1*, выключатели «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети и «СЕТЬ» блока мультиметров *P1*.
- По измеренным значениям токов оцените защитное действие двойной изоляции электроприемника

Таблица 7.1 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Рука-рука 1 кОм	Рука-нога 2 кОм	Рука-нога 11 кОм	Рука-нога 101 кОм

7.2 Защитного действия повторного заземления нулевого защитного проводника

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений приведенной на рисунке 7.2
- 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*
- Активируйте используемые мультиметры.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*
- Смоделируйте повреждение изоляции электроприемника *A2* втыканием перемычки «*П*», в его гнезда, как показано на рисунке 7.2 а
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *P1* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 7.1.
- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели *A11* однофазного источника питания *G1*, выключатели «СЕТЬ» модели *A1* питающей электрической сети

Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений приведенной на рисунке 7.2 б

- Включите автоматические выключатели в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*
- Смоделируйте повреждение изоляции электроприемника *A2* втыканием перемычки «*П*», в его гнезда, как показано на рисунке 7.2 а
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *P1* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 7.1.
- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели *A11* однофазного источника питания *G1*, а также – выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.

- Сопоставьте измеренные токи через тело человека и убедитесь в защитном действии повторного заземления нулевого защитного проводника.

Так же можно варьировать и сопротивление заземлителя $A8$.

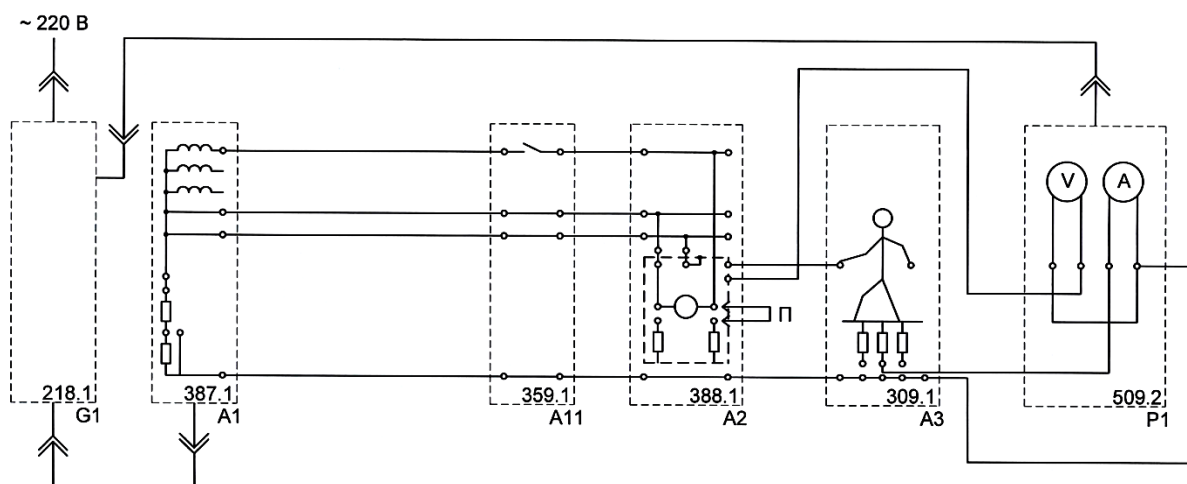


Рисунок 7.2 а – Схема для выявления защитного действия повторного заземления нулевого защитного проводника (без повторного заземления нулевого защитного проводника):

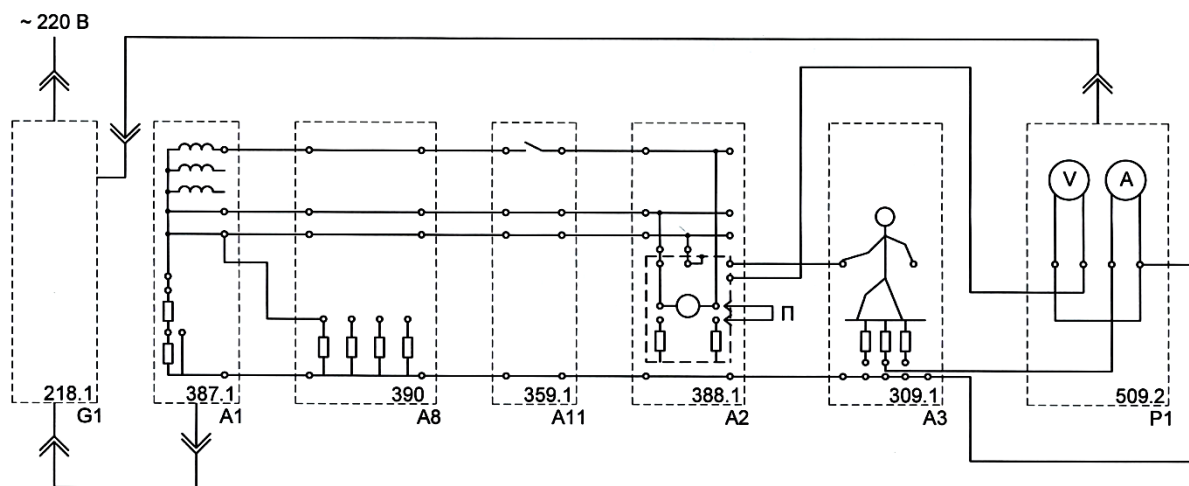


Рисунок 7.2 б – Схема для выявления защитного действия повторного заземления нулевого защитного проводника (с повторным заземлением нулевого защитного проводника):

7.3 Защитное действие малого напряжения

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

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений приведенной на рисунке 7.3 а (б).
- 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*
- Активируйте используемые мультиметры.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*
- Смоделируйте повреждение изоляции электроприемника *A2* втыканием перемычки «*И*», в его гнезда, как показано на рисунке 7.3 а, б
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *P1* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 7.1.
- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели *A11* однофазного источника питания *G1*, а также выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети и блока мультиметров *P1*.
- Сопоставьте измеренные в схемах 7.3 а и 7.3 б токи через тело человека и убедитесь в защитном действии малого напряжения.

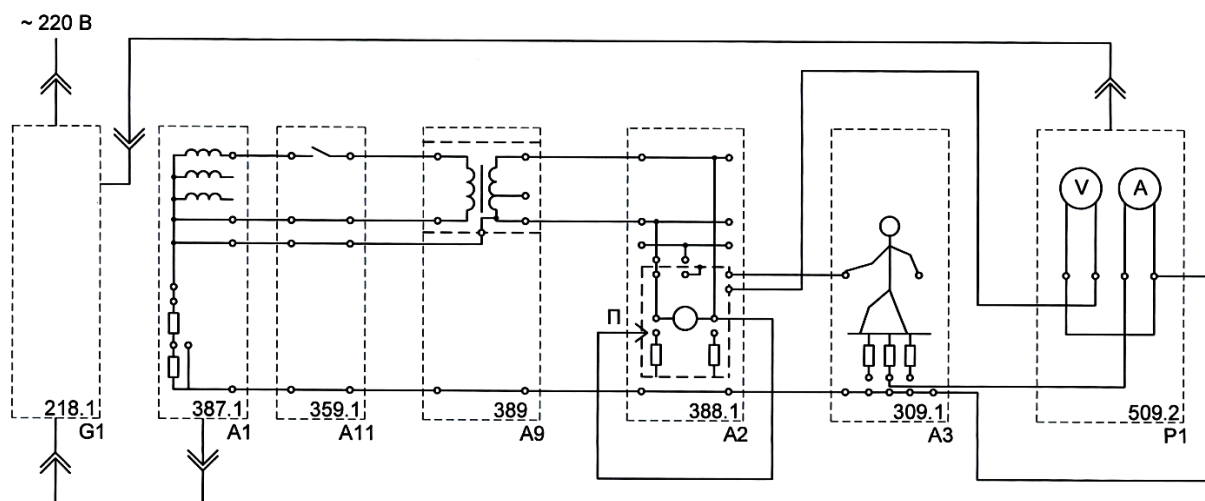


Рисунок 7.3 а – Схема для выявления защитного действия малого напряжения 36 В

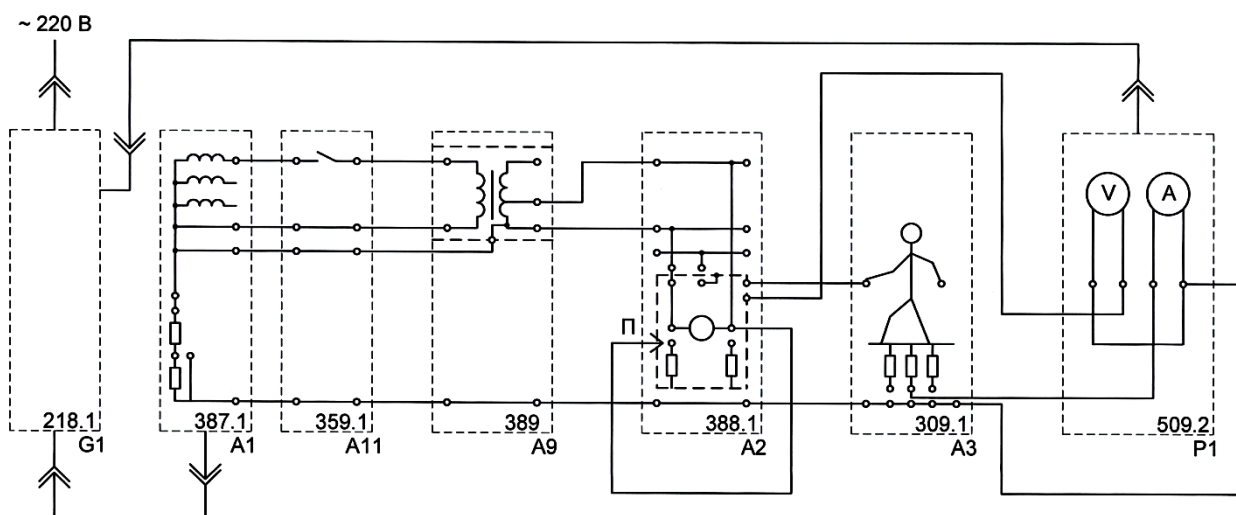


Рисунок 7.3 б – Схема для выявления защитного действия малого напряжения 12 В

7.4 Защитное действие электрического разделения цепей

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений приведенной на рисунке 7.4 а (б).
- 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*
 - Активируйте 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 показано на рисунке 7.4 а, б
 - С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *P1* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения.
- Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 7.1.
- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели *A11* однофазного источника питания *G1*, а также выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети и блока мультиметров *P1*.
 - Сопоставьте измеренные в схемах 7.4 токи через тело человека и убедитесь в защитном действии электрического разделения цепей.

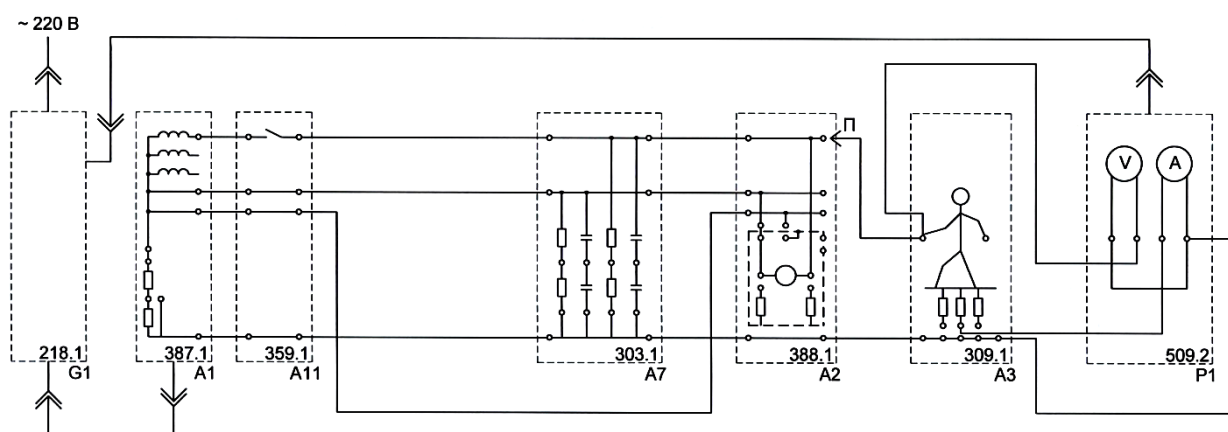


Рисунок 7.4 а – Схема для выявления защитного действия электрического разделения цепей (без электрического разделения цепей)

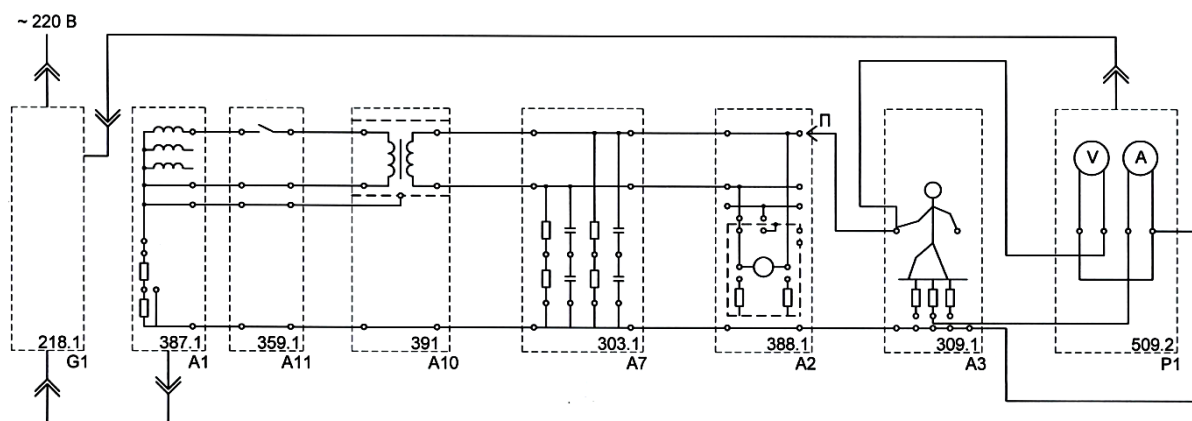


Рисунок 7.4 б – Схема для выявления защитного действия электрического разделения цепей (с электрическим разделением цепей)

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы
2. Защитное действие двойной изоляции электроприемника
3. Защитное действие повторного заземления нулевого защитного проводника и его оценка
4. Защитное действие малого напряжения
5. Защитное действие электрического разделения сетей
6. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета и форме устного опроса.

1. Оцените защитное действие двойной изоляции электроприемника.
2. Для чего необходим периодический контроль изоляции?

3. Защитного действия повторного заземления нулевого защитного проводника и его оценка?
4. Что дает применение повторного заземления нулевого провода?
5. Защитное действие малого напряжения и его преимущества?
6. В каких случаях применяют малое напряжение и что мешает широкому применению малых напряжений?
7. Защитное действие электрического разделения сетей и его назначение.
8. Область применения электрического разделения сетей.
9. Основная цель применения электрического разделения сетей.

Лабораторная работа № 8

Натурное моделирование зануления электрооборудования

Цель и содержание работы

Целью данной работы является определение мер защиты человека от поражения электрическим током при натурном моделировании зануления электрооборудования.

Изучить на лабораторном стенде принцип работы защитного зануления, назначение элементов зануления (зануления нейтрали источника питания, соединения корпуса электроустановки с нулевым проводником, повторного заземления нулевого проводника).

Теоретическое обоснование

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 (**PE** – 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:

- 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);

- электроустановки напряжением до 1 кВ в однофазных сетях переменного тока с заземленным выводом;

- 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.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде инженерно-производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~16 А
<i>A1</i>	Блок линейных дросселей	337	6х1,0 Гн; 0,5 А
<i>A2</i>	Трехфазный трансформатор	302	205 В·А 380/380 В Y-0/Y-0 Y Y
<i>A5</i>	Модель замыкания на землю	310	380 В / ~3 х 0.5 А
<i>A7</i>	Модель зануления	329	380 В / ~3 х 0.5 А
<i>P1</i>	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000 В~;= 0...10 А ~; =; 0...20 МОм

Методика и порядок выполнения работы

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления  устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника *G1*.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений рисунок 8.1.

- Установите у модели *A5* сопротивление замыкания на землю $R_{зам} = \infty$
- Включите источник *G1* и питание блока мультиметров *PI*.
- Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируйте установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя R_0 в блоке трехфазного трансформатора *A2*.
- Замыкание фазы на корпус электрооборудования моделируйте установкой выключателя *S* в положение «ВКЛ.».
- Ток короткого замыкания измеряйте с помощью амперметра блока мультиметров *PI*.
- При величинах сопротивления цепи короткого замыкания $R_N = 1, 2, 3 \text{ Ом}$ и возникновении короткого замыкания фазы на корпус электрооборудования (выключатель *S* включен) защита отключает электрооборудование от сети, что проявляется в отсутствии свечения светодиодов в фазах подходящих к нему проводов.
- При величинах сопротивления цепи короткого замыкания $R_N = 5, 10, 15, 20 \text{ Ом}$ и возникновении короткого замыкания фазы на корпус электрооборудования (выключатель *S* включен) защита не отключает электрооборудование от сети, что проявляется в наличии свечения светодиодов в фазах подходящих к нему проводов.
- Наличие повторного заземлителя моделируйте установкой любого его значимого сопротивления $R_{II} \neq \infty$. Значения R_{II} и $R_{зам}$ принимаются согласно варианту по таблице 8.1.
- Напряжение на корпусе электрооборудования измеряйте с помощью вольтметра блока мультиметров *PI*.
- Сопротивление замыкания на землю $R_{зам} \neq \infty$ устанавливайте только при моделировании режима изолированной нейтрали питающей электрической сети.
- По завершении эксперимента отключите источник *G1* и питание блока мультиметров *PI*.

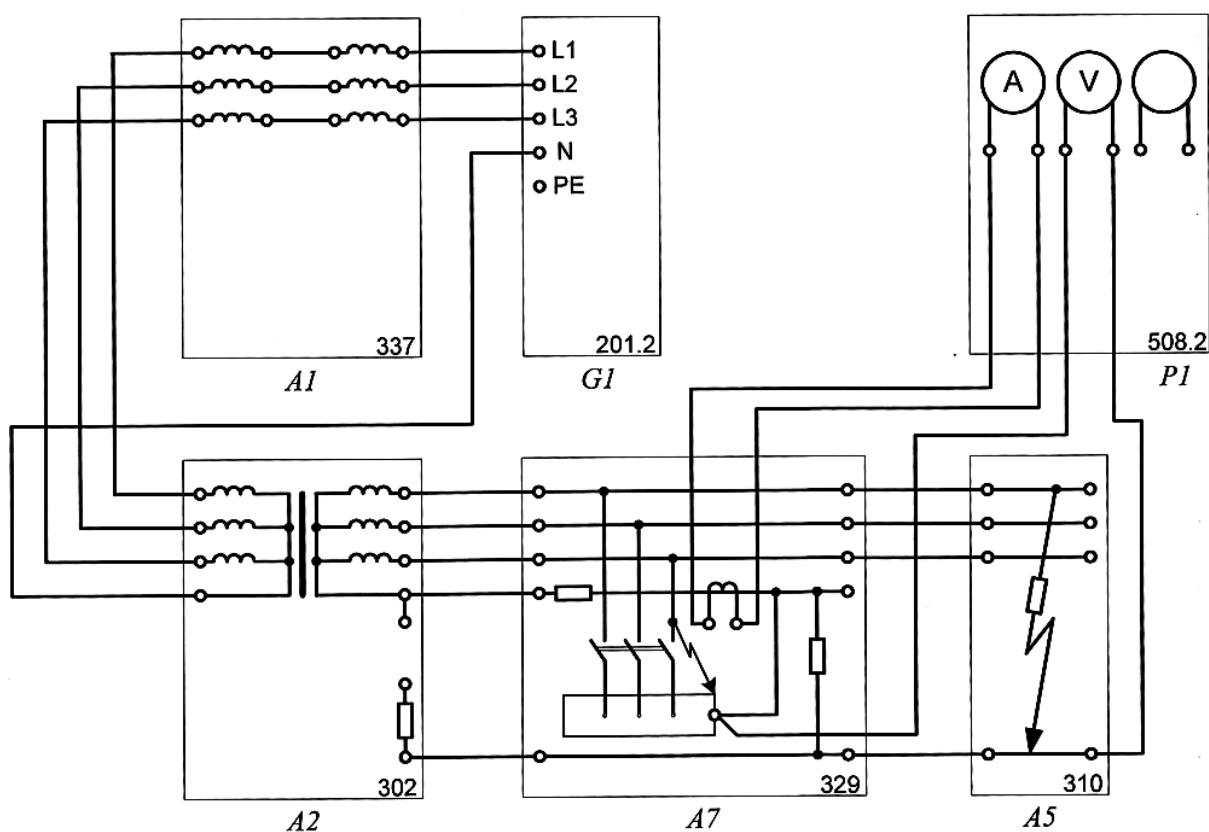


Рисунок 8.1 – Схема для натурального моделирования зануления электрооборудования

Таблица 8.1 – Варианты заданий

№ варианта	$R_{зам}, \text{Ом}$ для глухозаземленной нейтрали	$R_{зам}, \text{Ом}$ для изолированной нейтрали	$R_{л}, \text{Ом}$
1	∞	2	2
2	∞	5	4
3	∞	10	6
4	∞	50	8
5	∞	100	10
6	∞	200	20
7	∞	500	2
8	∞	1000	4
9	∞	2	6
10	∞	5	8
11	∞	10	10
12	∞	50	20

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты измеренных значений токов короткого замыкания и напряжения на корпусе электрооборудования для $R_N = 1 \dots 20$ Ом при заданных R_{Π} и $R_{зам}$.
4. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

- 1 Дайте определение защитному занулению
- 2 Для каких целей используется нулевой защитный проводник
- 3 Как называется нулевой защитный проводником в системе $TN - S$
- 4 В чем отличие нулевого защитного проводника от нулевого рабочего
- 5 В каких случаях применяют совмещенный PEN проводник в системе $TN - C$
- 6 Область применения зануления
- 7 Принцип действия зануления

Лабораторная работа № 9

Натурное моделирование защитного заземления / самозаземления электрооборудования

Цель и содержание работы

Целью данной работы является определение мер защиты человека от поражения электрическим током при натурном моделировании защитного заземления / самозаземления электрооборудования.

Смоделировать и исследовать действие защитного заземления и самозаземления электрооборудования.

Произвести измерение тока, стекающего в землю через заземлитель и напряжения между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя.

Сделать вывод об эффективности защитного заземления.

Теоретическое обоснование

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 и вынос потенциала).

Принцип действия защитного заземления – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения. Данное напряжение называется напряжением прикосновения U_{np} . 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 ($1 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^4$ 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 (рисунок 9.1), определяется соотношением:

$$\bar{I}_ч = \bar{U}_ф / (R_ч + R_{об} + R_n + \dot{Z}_u / 3), \quad (9.1)$$

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

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

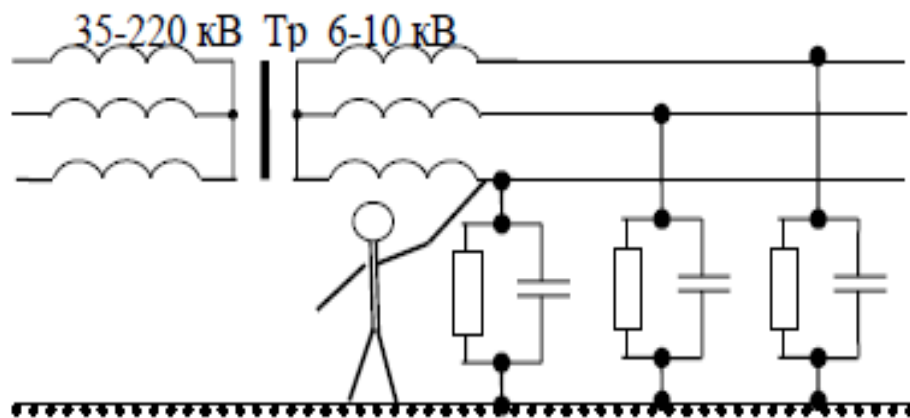


Рисунок 9.1 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

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:

$$\bar{I}_ч = \bar{U}_ф / (R_ч + R_{об} + R_n + Z_u). \quad (9.2)$$

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 $R_n = 0$. 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 $R_ч=1000$ Ом (вполне вероятная величина) и $R_з = 4$ Ом

$$I_ч = 220 / (1000 + 4) \approx 0,22 \text{ А}. \quad (9.3)$$

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.

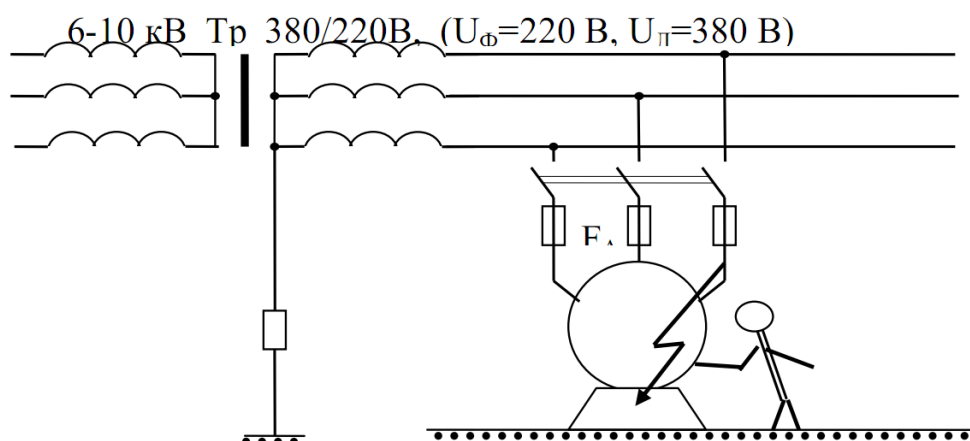


Рисунок 9.2 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с глухозаземленной нейтралью

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, рисунок 9.3

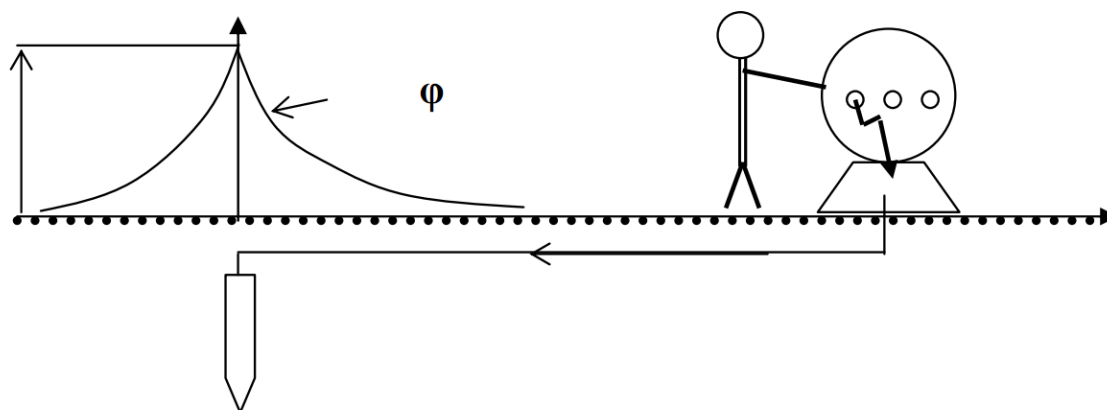


Рисунок 9.3 – Выносной (сосредоточенный) заземлитель

При замыкании фазы на корпус и стекании тока I_z через заземлитель $\varphi_z(X)$ 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_z , а ноги находятся под потенциалом, близким к нулю.

Напряжение прикосновения U_{np} , равное разности потенциалов руки и ног, в данном случае практически равно φ_z .

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 рисунке 9.4. При этом распределения потенциалов отдельных заземлителей складываются, получается суммарное распределение потенциала $\varphi_z \Sigma(X)$. Таким образом, потенциалы в точках рабочей площадки по своей величине приближаются к

потенциалу заземленного корпуса оборудования, поэтому напряжение прикосновения U_{np} 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.

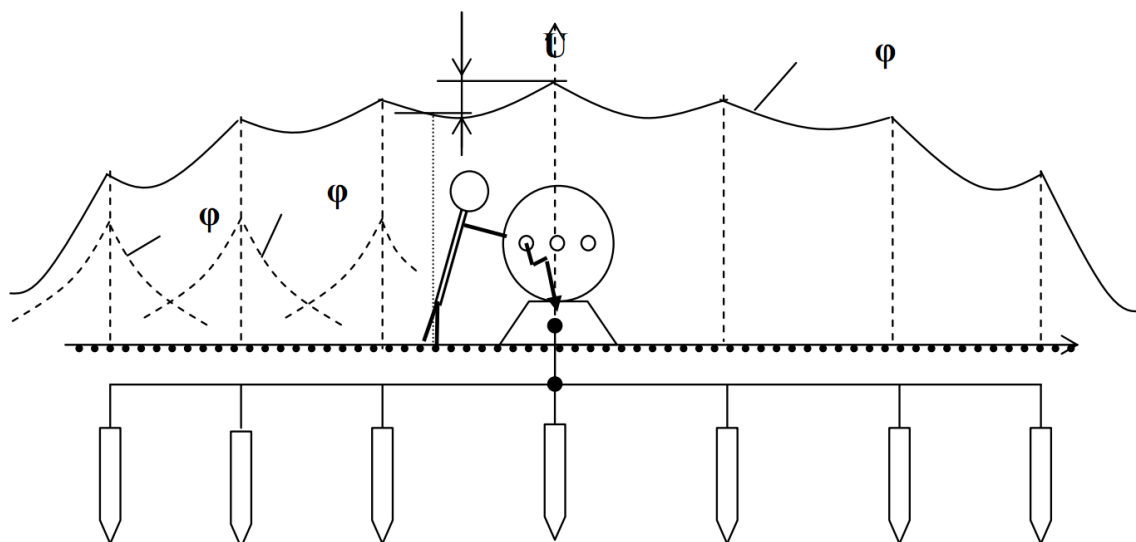


Рисунок 9.4 – Случай контурного (распределенного) заземлителя

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:

- 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 (таблица 9.1).

Таблица 9.1 – Максимально допустимые значения сопротивления защитного заземления в зависимости от характеристик электрических сетей

Допустимое сопротивление заземляющего устройства, R Ом	Характеристика электроустановок
Электроустановки напряжением до 1 кВ (нейтраль изолирована)	
4	Для всех электроустановок напряжением до 1 кВ и мощностью источника более 100 кВ·А
10	Только для электроустановок напряжением до 1 кВ и мощностью источника до 100 кВ·А. При параллельной работе трансформаторов и генераторов 10 Ом допускается при суммарной их мощности не более 100 кВ·А
$125 / I_3$, но не более 10	Если заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до 1 кВ и выше
Электроустановки напряжением выше 1 кВ (нейтраль изолирована)	
$250 / I_3$, но не более 10	Если заземляющее устройство используется для сети с изолированной нейтралью
0,5	Для электроустановок напряжением выше 1 кВ с эффективно заземленной нейтралью

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде инженерно-производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~16 А
<i>A1</i>	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн; 0,5 А
<i>A2</i>	Трехфазный трансформатор	302	250 В·А 380/380 В Y-0/Y-0 Y-Y
<i>A3</i>	Модель участка электрической сети	303	~ 380 В 3 х 0.5 А
<i>A10</i>	Модель защитного заземления / самозаземления	328	~ 380 В 3 х 0.5
<i>P1</i>	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000 В~;= 0...10 А ~; =; 0...20 МОм

Методика и порядок выполнения работы

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления  устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника *G1*.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений рисунок 9.5.
- Включите источник *G1* и питание блока мультиметров *P1*.
- Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируйте установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя R_0 в блоке трехфазного трансформатора *A2*.
- Замыкание фазы на корпус электрооборудования моделируйте установкой перемычки между гнездами 3 и 4 модели *A10*.
- Токи короткого замыкания измеряйте с помощью амперметров блока мультиметров *P1*, включенных между гнездами 5, 6 и 7, 8 модели *A10*. Параметры модели *A3* и тип экскаватора принимаются согласно заданному варианту по таблице 9.1

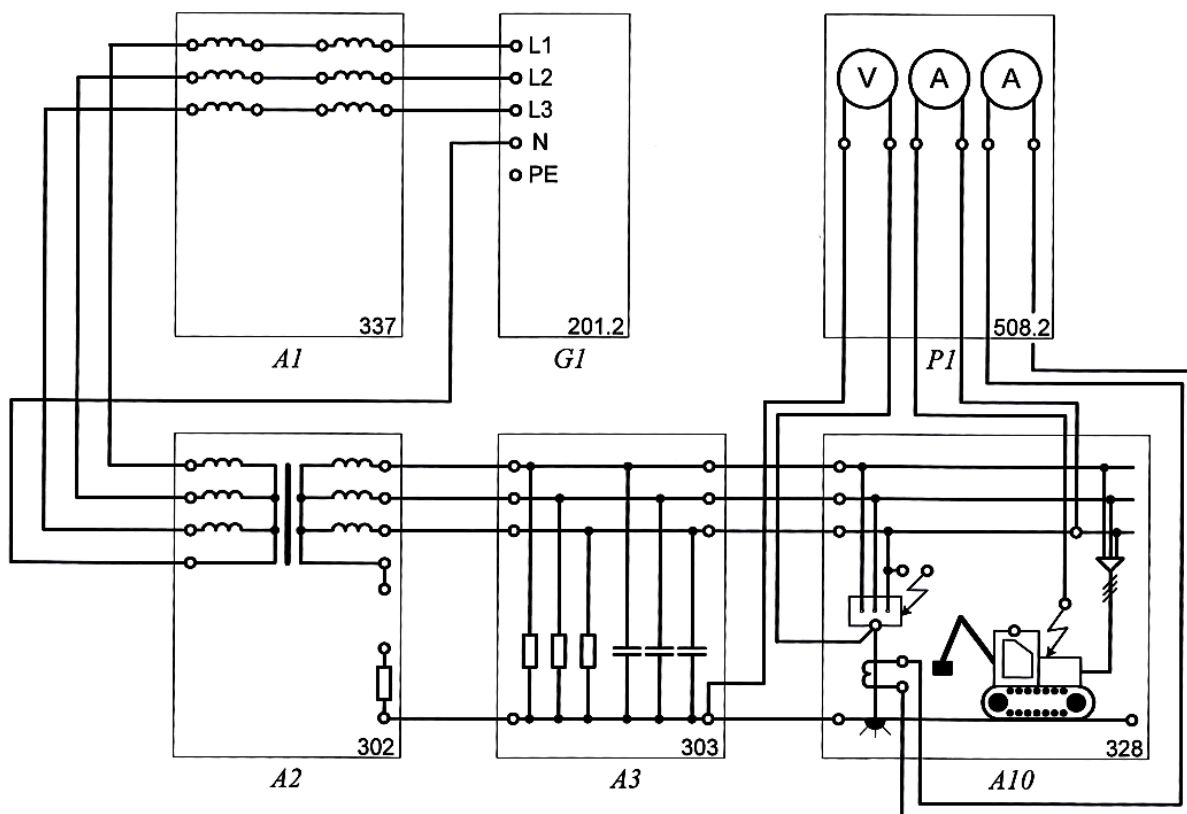


Рисунок 9.5 – Схема для натурального моделирования защитного заземления / самозаземления электрооборудования

- Напряжения на корпусах электрооборудования и экскаватора измеряйте с помощью вольтметра блока мультиметров *P1*, включая его между гнездами 1, *E* и 2, *E* модели *A10*.
- Грунт, в котором проложен заземлитель, характеризуется удельным электрическим сопротивлением ρ_1 , а грунт, на котором стоит экскаватор, – удельным электрическим сопротивлением ρ_2 . Измерения токов короткого замыкания и напряжения на корпусах электрооборудования и экскаватора провести для $\rho_1=40\ldots 10^5$ и для $\rho_2=20\ldots 10^5$.
- По завершении эксперимента отключите источник *G1* и питание блока мультиметров *P1*.

Таблица 9.1 – Варианты заданий

№ варианта	R_A, R_B, R_C кОм	C_A, C_B, C_C , мкФ	Тип экскаватора
1	1	0	1
2	2	0,1	2
3	5	0,2	3
4	10	0,3	1
5	100	0,4	2
6	500	0,5	3
7	∞	0,6	1
8	1	0	2
9	2	0,1	3
10	5	0,2	1
11	10	0,3	2
12	100	0,4	3
13	500	0,5	1
14	1	0,6	2

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты показаний токов короткого замыкания электрической сетей с изолированной и с глухозаземленной нейтралью. Напряжения на корпусах электрооборудования и экскаватора.
4. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

1. Дайте определение режима работы сети с изолированной нейтралью.
2. Дайте определение режима работы сети с глухо заземлённой нейтралью.

3. Дайте анализ опасности электрических сетей на значение тока, протекающего через тело человека.

4. Как влияют активные сопротивления изоляции и емкости на величину тока, протекающего через тело человека?

5. Под каким напряжением оказывается человек сети с заземленной нейтралью при замыкании на землю?

6. Под каким напряжением оказывается человек сети с изолированной нейтралью при замыкании на землю?

Лабораторная работа № 10

Натурное моделирование защитного отключения электрической сети

Цель и содержание работы

Целью данной работы является определение мер защиты человека от поражения электрическим током при натурном моделировании защитного отключения электрической сети.

Получение общего представления о защитном отключении.

Изучение защитного отключения электрической сети с различным режимом нейтрали.

Теоретическое обоснование

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 электрического 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 недостаточно эффективна.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде инженерно-производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~16 А
<i>A1</i>	Блок линейных дросселей	337	6x1,0 Гн; 0,5 А
<i>A2</i>	Трехфазный трансформатор	302	250 В·А 380/380 В Y-0/Y-0 Y-Y
<i>A3</i>	Модель участка электрической сети	303	~ 380 В 3 х 0.5 А

Продолжение таблицы

<i>A4</i>	Модель человека	309	~ 380 В 3 х 0.5 А
<i>A11</i>	Устройство защитного отключения	321	~ 380 В 3 х 0.5 А
<i>P1</i>	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра О...1000 В ~;= О...10 А ~; =; 0...20 МОм

Методика и порядок выполнения работы

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления  устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника *G1*.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений рисунок 10.1.
- Включите источник *G1* и питание блока мультиметров *P1*.
- Режим глухозаземленной (изолированной) нейтрали питающей электрической сети моделируйте установкой (отсутствием) перемычки между гнездом нейтральной точки трансформатора и гнездом сопротивления заземлителя R_0 в блоке трехфазного трансформатора *A2*.
- При проведении эксперимента в сети с изолированной нейтралью сопротивления R_A , R_B , R_C изоляции фаз модели *A3* обязательно должны иметь значимые величины. Варианты принимать согласно таблицы 10.1
- Желаемые значения сопротивления обуви человека и пола, на котором он стоит, устанавливайте на модели человека *A4*. Варианты принимать согласно таблицы 10.1.
- Временную (от 0,1 до 1 сек) и токовую (от 5 до 250 мА) уставки срабатывания защитного отключения *A11* устанавливайте с помощью кнопок « < » и « > » на его лицевой панели.
- Включение устройства защитного отключения *A11* производите нажатием кнопки «ВКЛ.» на его лицевой панели.

- На верхнем индикаторе устройства защитного отключения *A11* наблюдайте текущее значение тока утечки через человека.

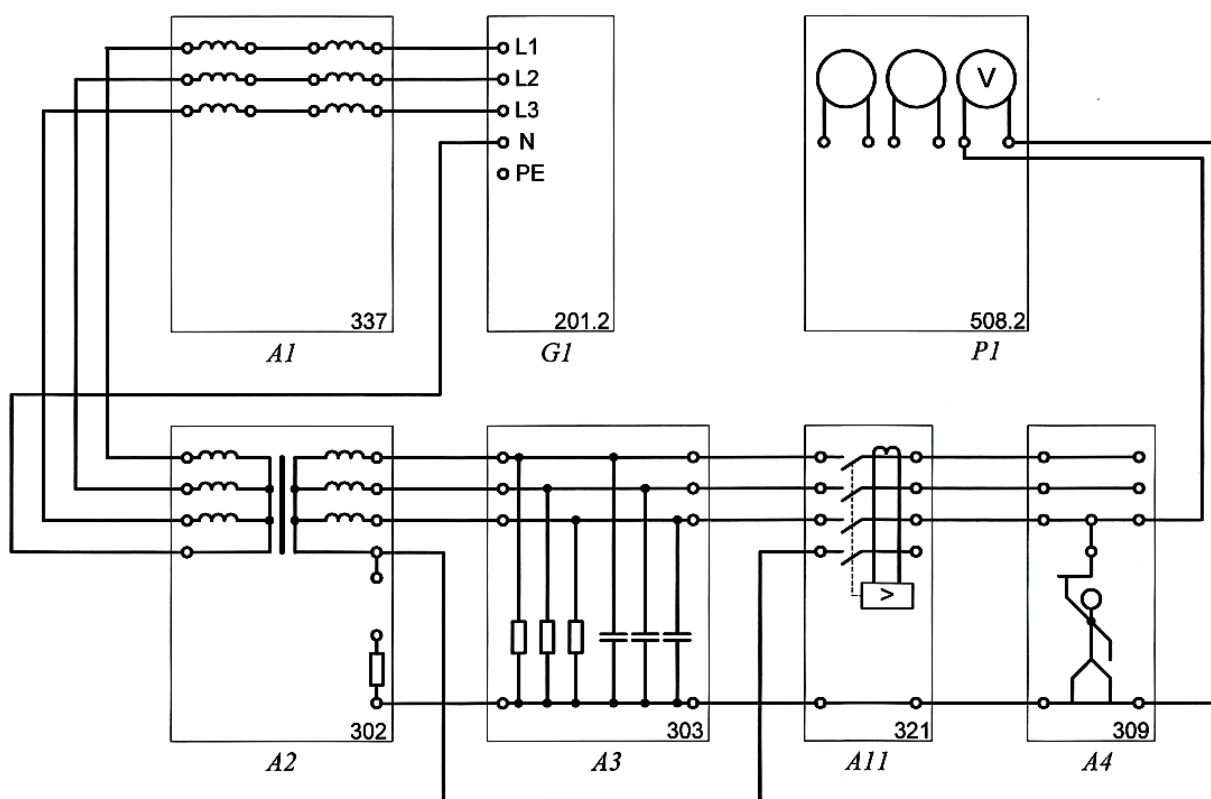


Рисунок 10.1 – Схема для натурального моделирования защитного отключения электрической сети

- 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 (установки по времени) устройства защитного отключения используйте для оценки эффективности последнего.
- Напряжение фазы, которой касается человек, измеряйте с помощью вольтметра блока мультиметров *P1*.
- По завершении эксперимента отключите источник *G1* и питание блока мультиметров *P1*.

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты показаний величины тока утечки и времени срабатывания УЗО при различных величинах сопротивления обуви $R_{обуви}$ и пола $R_{пола}$ для режимов с глухозаземленной нейтралью и с изолированной нейтралью
4. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Требования к отчету по лабораторной работе

- Для режима глухозаземленной нейтрали питающей электрической сети, необходимо отразить величины тока утечки и времени срабатывания УЗО при различных величинах сопротивления обуви $R_{обуви} = 1; 10; 300; 3000$ кОм и пола $R_{пола} = 1; 100; 900; 2500$ кОм (по заданию преподавателя).

- 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 $R_{обуви} = 1; 10; 300; 3000$ кОм и пола $R_{пола} = 1; 100; 900; 2500$ кОм (по заданию преподавателя), а также определить напряжение фазы, которой касается человек.

- Необходимо сделать выводы по всем выполненным экспериментам.

Таблица 10.1 – Варианты заданий

№ варианта	$R_{об}, \text{Ом}\cdot\text{м}$	$R_{пола}, \text{Ом}\cdot\text{м}$	$R_A, R_B, R_C, \text{кОм}$	$C_A, C_B, C_C, \text{мкФ}$
1	1	2500	1	0,6
2	10	100	2	0,1
3	300	900	5	0,2
4	3000	2500	10	0,3
5	1	900	100	0,4
6	10	100	500	0,5
7	300	900	10	0,6
8	3000	2500	2	0,4
9	3000	1	5	0,1
10	10	900	10	0,2
11	300	900	100	0,3
12	3000	2500	500	0,4
13	10	2500	100	0,5
14	300	100	5	0,6

Контрольные вопросы и защита работы

1. Дайте определение защитному отключению.
2. На какие параметры сети реагируют защитно-отключающие устройства?
3. Область применения схем защитного отключения.
4. Требования к защитно-отключающим устройствам.
5. Конструктивное исполнение защитно-отключающего устройства.
6. Классификация УЗО по виду входного сигнала.
7. Принцип действия УЗО дифференциального типа.

Лабораторная работа № 11

Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN - C при заземленных корпусах электроприемников

Цель и содержание работы

Целью данной работы является защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления *TN - C* при заземленных корпусах электроприемников

Теоретическое обоснование

Система *TN* – система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали (занулены) при помощи нулевых защитных проводников.

Система *TN - C* – система *TN*, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (см. рисунок 11.1); при этом совмещенный нулевой и рабочий провод обозначается *PEN*.

Для трехфазной сети с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ типа *TN - C* (рисунок 11.1) значения тока, протекающего через тело человека и напряжение прикосновения определяются фазным напряжением сети и не зависят от сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли.

Действительно, проводимости фазного и нулевого проводников относительно земли по сравнению с $Y_0 = 1/R_0$ проводимостью заземления нейтрали малы ($Y_{L1}, Y_{L2}, Y_{L3} \ll Y_0$). При этом выражение для тока, протекающего через тело человека при прикосновении к фазному проводу при нормальном режиме работы сети *TN - C*, принимает вид:

$$I_h = \frac{U}{R_h - R_0},$$

где R_0 – сопротивление рабочего заземления нейтрали.

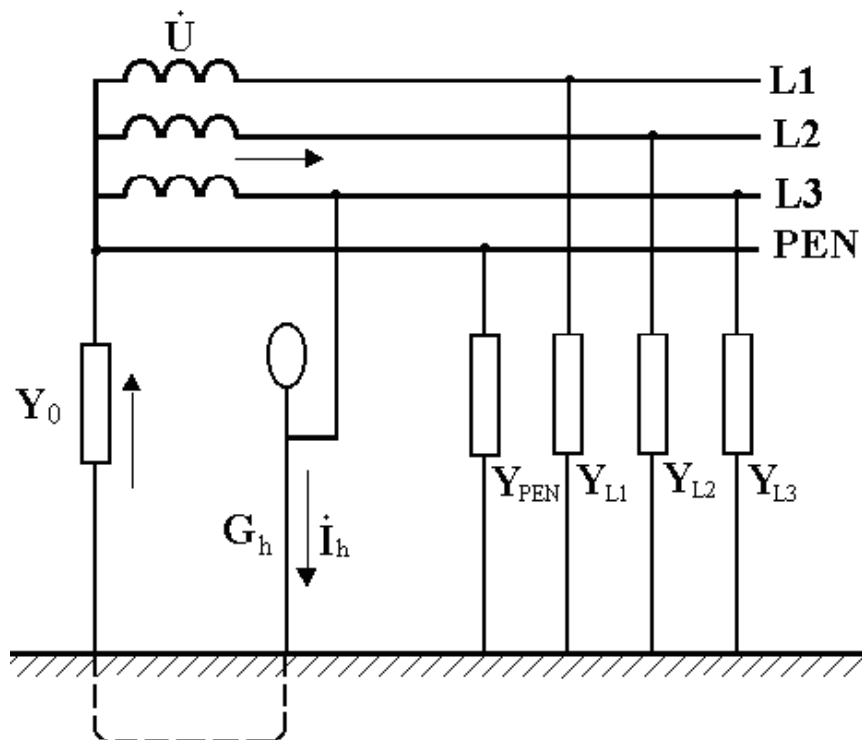


Рисунок 11.1 – Однофазное прямое прикосновение в сети с заземленной нейтралью типа *TN - C* при нормальном режиме работы

Напряжение прикосновения в этом случае определяется из уравнения:

$$U_h = \frac{U \cdot R_h}{R_h + R_0}.$$

Так как обычно $R_0 \ll R_h$, то можно считать, что человек в этом случае попадает практически под фазное напряжение сети.

При аварийном режиме, когда один из фазных проводов сети, например, провод L_2 (рисунок 11.2), замкнут на землю через относительно малое активное сопротивление $R_{зм}$, а человек прикасается к исправному фазному проводу, уравнение имеет следующий вид:

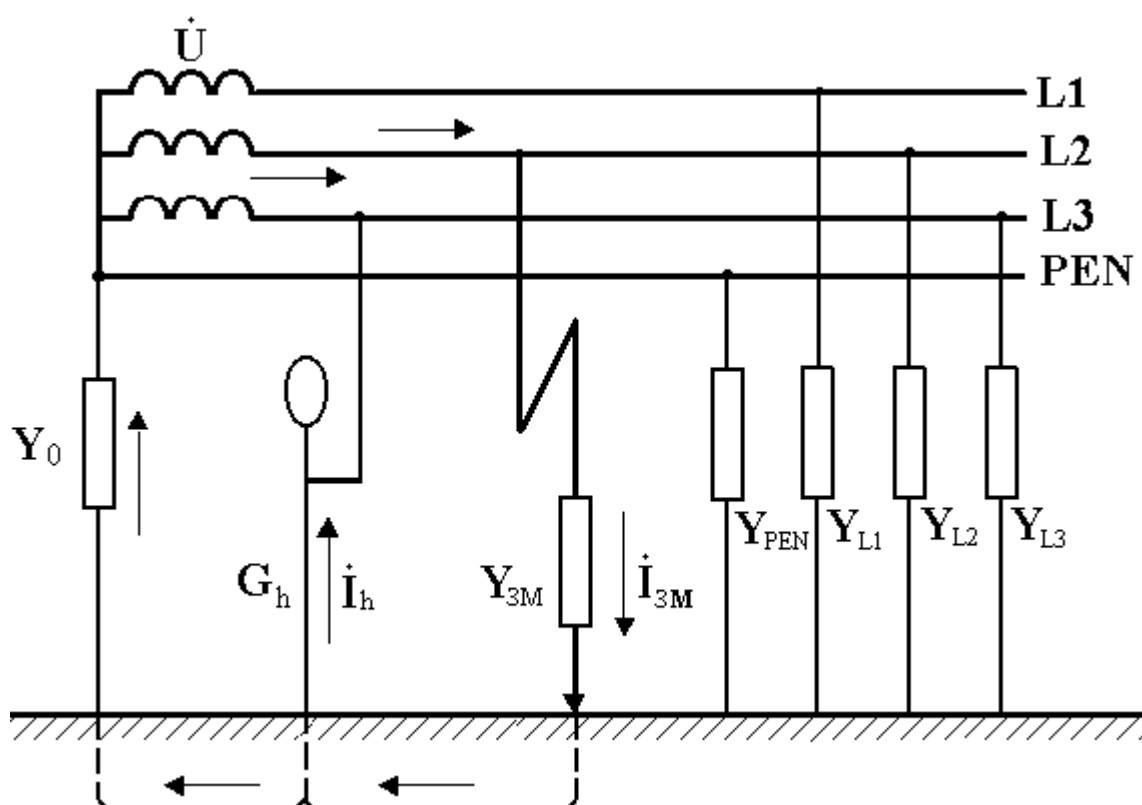


Рисунок 11.2 – Прикосновение к исправному проводу в сети с заземленной нейтралью типа *TN-C* при аварийном режиме работы

$$U_h^* = U \cdot \frac{Y_{3M} \cdot (1 - \alpha) + Y_0}{Y_{3M} + Y_0 + Y_h}$$

Здесь учтено, что Y_{L1} , Y_{L2} и Y_{PEN} малы по сравнению с Y_0 , а Y_{L3} – по сравнению с Y_0 и Y_{3M} , т.е. ими можно пренебречь и считать равными нулю.

С учетом того, что

$$Y_{3M} = \frac{1}{R_{3M}}; Y_0 = \frac{1}{R_0}; Y_h = \frac{1}{R_h}; \alpha = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2},$$

напряжение прикосновения в действительной форме имеет вид

$$U_h = U \cdot R_h \frac{\sqrt{R_{3M}^2 + 3 \cdot R_{3M} \cdot R_0 + (R_0 \cdot \sqrt{3})^2}}{R_{3M} \cdot R_0 + R_h \cdot (R_{3M} + R_0)}.$$

Учитывая, что

$$3 \cdot R_{3M} \cdot R_0 \approx 2 \cdot \sqrt{3} \cdot R_{3M} \cdot R_0$$

предыдущее выражение можно записать как

$$U_h = U \cdot R_h \cdot \frac{R_{3M} + R_0 \cdot \sqrt{3}}{R_{3M} \cdot R_0 + R_h(R_{3M} + R_0)}$$

При этом выражение для определения тока через тело человека имеет вид

$$I_h = U \cdot \frac{R_{3M} + R_0 \cdot \sqrt{3}}{R_{3M} \cdot R_0 + R_h(R_{3M} + R_0)}$$

Рассмотрим два характерных случая.

1. Если принять, что сопротивление замыкания фазного провода на землю R_{3M} равно нулю, то напряжение прикосновения

$$U_h = U \cdot \sqrt{3}$$

Следовательно, в данном случае человек окажется практически под воздействием линейного напряжения сети.

2. Если принять равным нулю сопротивления заземления нейтрали R_0 , то $U_h = U$, т.е. напряжение, под которым окажется человек, будет практически равно фазному напряжению.

Однако в реальных условиях сопротивления R_{3M} и R_0 всегда больше нуля, поэтому напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному фазному проводу трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, т.е. напряжение прикосновения U_h всегда меньше линейного, но больше фазного, то есть

$$U \cdot \sqrt{3} > U_h > U$$

С учетом того, что всегда $R_{3M} > R_0$, напряжение прикосновения U_h в большинстве случаев незначительно превышает значение фазного напряжения, что менее опасно для человека, чем в аналогичной ситуации в сети типа IT.

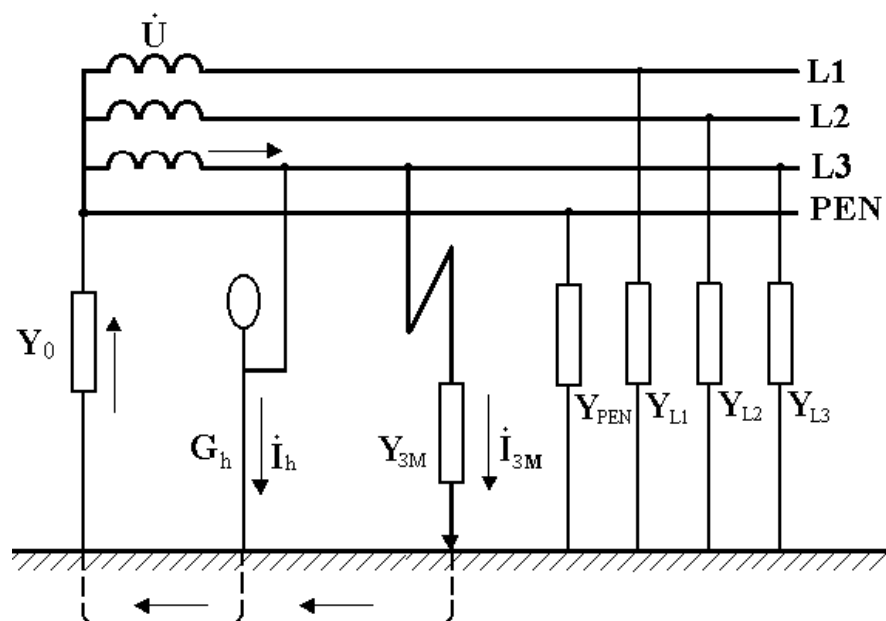


Рисунок 11.3 – Прикосновение к неисправному проводу в сети с заземленной нейтралью типа *TN - C* при аварийном режиме работы

При аварийном режиме работы сети типа *TN - C*, когда человек касается провода, замкнувшегося на землю (рисунок 11.3; человек касается фазного провода L_3) ток через тело человека будет определяться, также, как и в сети типа *IT*, падением напряжения на сопротивлении растеканию тока в месте замыкания на землю R_{3M} :

$$I_h = \frac{I_{3M} \cdot R_{3M}}{R_h} \alpha_1 \cdot \alpha_2$$

где: I_{3M} – ток замыкания на землю;

α_1, α_2 – коэффициенты напряжения прикосновения.

При $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$

$$I_h = \frac{I_{3M} \cdot R_{3M}}{R_h}.$$

Ток замыкания на землю в сети *TN - C* зависит только от сопротивления растеканию тока R_{3M} , сопротивления заземления нейтрали R_0 и сопротивления тела человека R_h . Если принять во внимание, что обычно $R_{3M} \ll R_h$, то

$$I_{3M} = \frac{U}{(R_{3M} + R_0)}$$

В этом случае напряжение прикосновения лишь незначительно отличается от значения фазного напряжения.

Таким образом, прикосновение к неисправному фазному проводу (замкнувшемуся на землю) в сети $TN - C$ практически также опасно, как к исправному. Значение тока, протекающего через тело человека, в этом случае почти такое же, как при прямом однофазном прикосновении в нормальном режиме работы в сети $TN - C$.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде Инженерно-производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

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
$A5$	Устройство защитного отключения	321.1	-220В /16 А/ 10 мА
$A8, A12$	Модель заземлителя	390	-220 В / 2,10,100,10000 Ом
$A11$	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	-220 В /0,5 А
$P1$	Блок мультиметров	509.2	2 мультиметра 0...1000В 0...10А~; 0...20МОм

Методика и порядок выполнения работы

1.1 Подтверждение нецелесообразности применения устройства защитного отключения

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 11.4.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должно ложно сработать устройство защитного отключения *A5*, что подтверждает нецелесообразность его применения в этом случае.

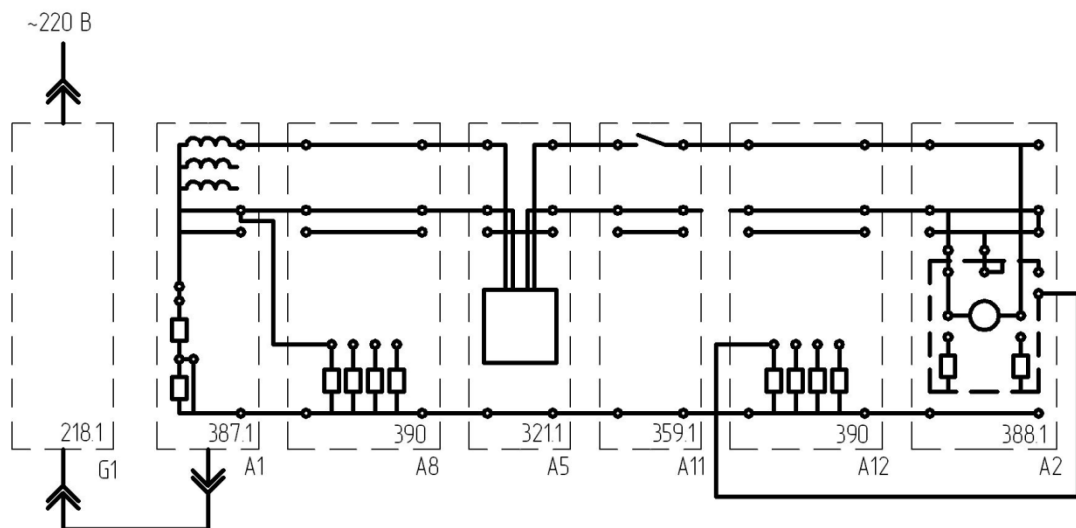


Рисунок 11.4 – Схемы для подтверждения нецелесообразности применения устройства защитного отключения в электроустановках с системой заземления *TN – C*

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

1.2 Подтверждение отсутствия защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 11.5.
- 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 $A2$.
- Вставьте конец проводника « I », в гнездо фазы « L » электроприемника $A2$, как это показано на рисунке 11.5.
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров $P1$ измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 11.1.
- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели однофазного источника питания $G1$ и $A11$, а также - выключатель «ПИТАНИЕ» питающей электрической сети $A1$.
- По величине измеренного тока через тело человека сделайте вывод о наличии или отсутствии защиты при прямом прикосновении человека к

частям, находящимся под напряжением.

Таблица 11.1 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Рука-рука 1 кОм	Рука-нога 2 кОм	Рука-нога 11 кОм	Рука-нога 101 кОм

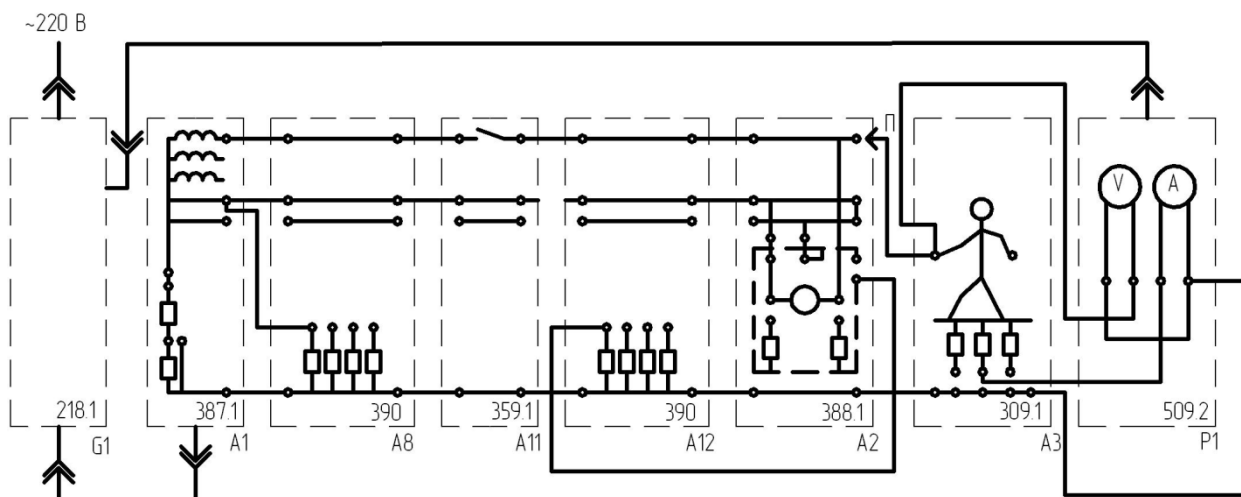


Рисунок 11.5 – Схема для подтверждения отсутствия защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением

1.3 Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса I

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 11.6 а.
- 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 повреждение основной изоляции электроприемника втыканием перемычки «*П 1*» или «*П 2*», в гнезда электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 11.6 а.

- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *P1* измерьте ток через тело человека и напряжение прикосновения. По величине тока судите о наличии или отсутствии защиты при повреждении основной изоляции электроприемника. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 11.1.

- Отключите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 11.6 б.

- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием конца проводника «*П*», в гнездо электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 11.6 б. При этом должен отключиться автоматический выключатель АН подтверждая, тем самым, действие защиты.

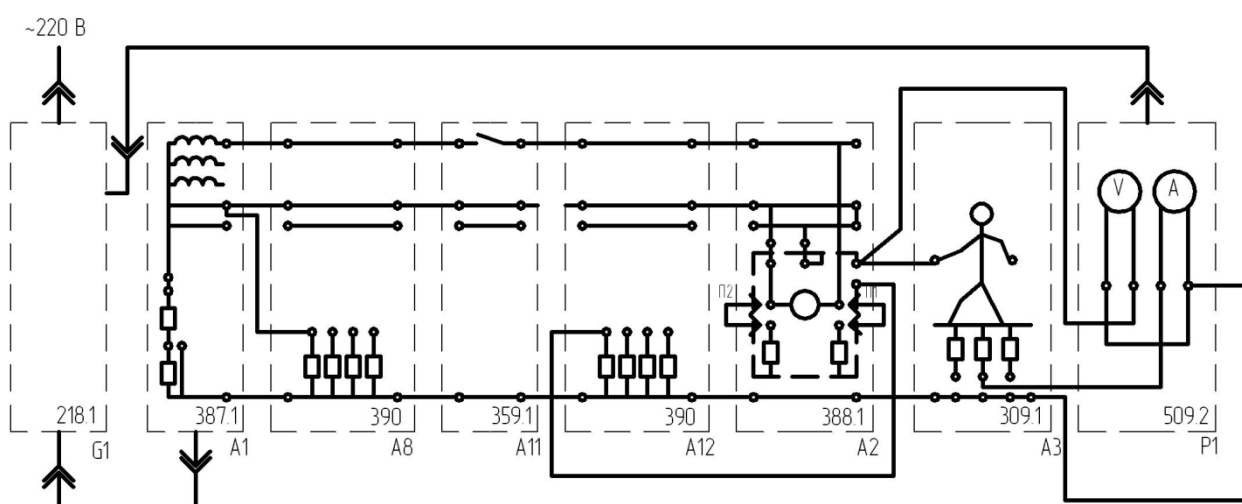


Рисунок 11.6 а – Схема для моделирования работы защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса I (уменьшении сопротивления изоляции фазы до 15 кОм или – нулевого провода до 1 Ом)

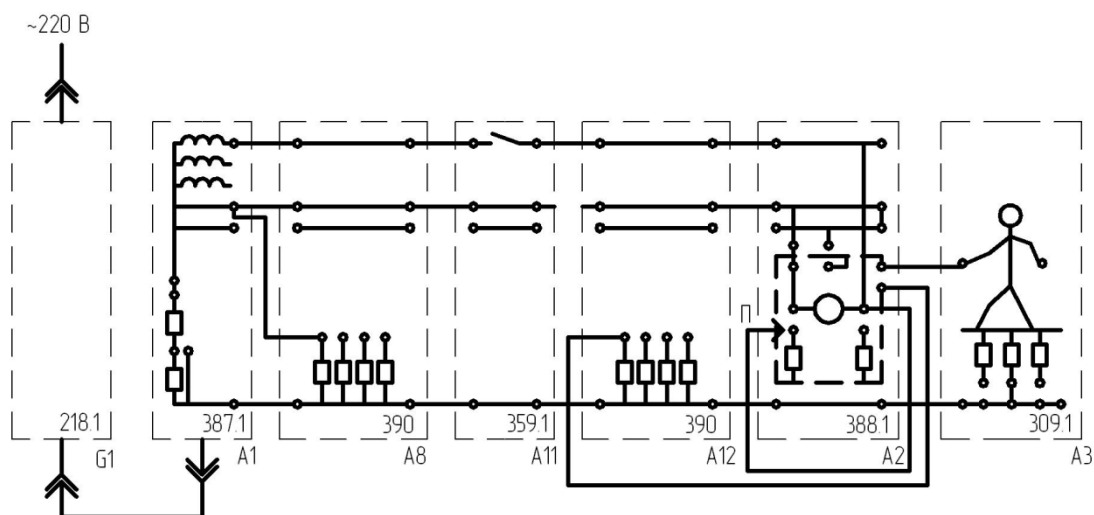


Рисунок 11.6 б – Схема для моделирования работы защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса I (уменьшении сопротивления изоляции фазы до 1 Ом)

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

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Подтверждение нецелесообразности применения устройства защитного отключения
3. Подтверждение отсутствия защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением
4. Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса I
5. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета и форме устного опроса.

1. Дать определение системе заземления TN .

2. Дать определение системе заземления $TN - C$.

3. Написать и пояснить выражение для тока, протекающего через тело человека при прикосновении к фазному проводу при нормальном режиме работы сети $TN - C$.

4. Написать и пояснить выражение напряжение прикосновения в действительной форме при аварийном режиме работы сети типа $TN - C$, когда человек касается провода, замкнувшегося на землю.

5. От чего зависит ток замыкания на землю в сети $TN - C$?

Лабораторная работа № 12

Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления $TN - C$ при изолированных от земли корпусах электроприемников

Цель и содержание работы

Целью данной работы является защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления $TN - C$ при изолированных от земли корпусах электроприемников

Теоретическое обоснование

Система TN - система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали (занулены) при помощи нулевых защитных проводников.

Система $TN - C$ – система TN , в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении (см. рисунок 12.1); при этом совмещенный нулевой и рабочий провод обозначается PEN .

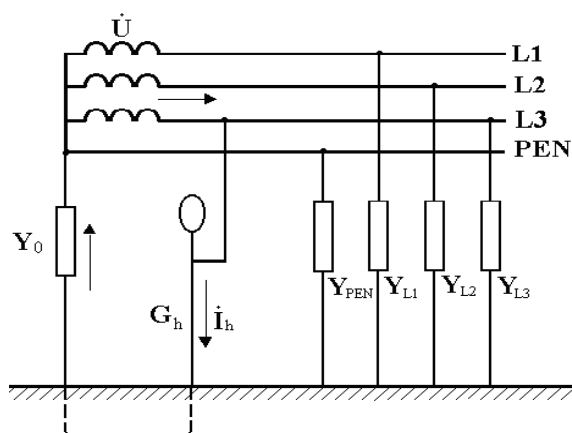


Рисунок 12.1 – Однофазное прямое прикосновение в сети с заземленной нейтралью типа $TN - C$ при нормальном режиме работы

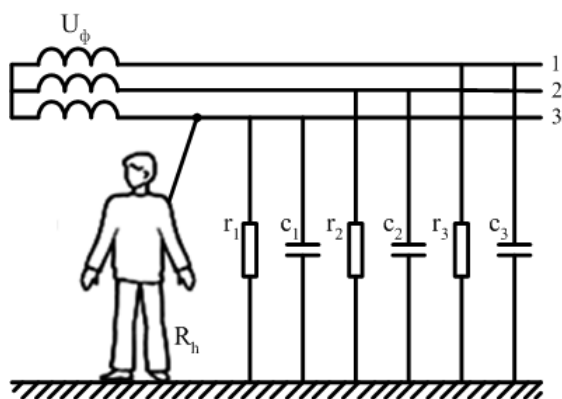


Рисунок 12.2 – Трехпроводная сеть с изолированной нейтралью;
нормальный режим

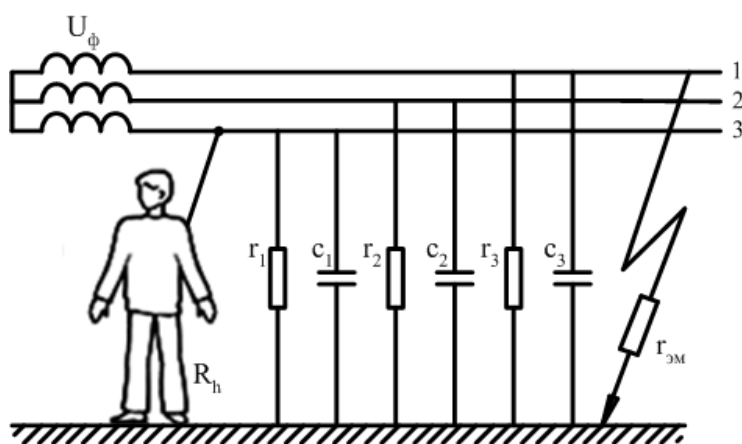


Рисунок 12.3 – Трехпроводная сеть с изолированной нейтралью;
аварийный режим

Условия поражения человека электрическим током в трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью

При нормальном режиме работы рассматриваемой сети напряжение прикосновения U_{np} и ток I_h в период касания человека к одной фазе определяются уравнениями (12.1) и (12.2), если принять $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_n = 0$

$$I_h = U_{np} \cdot Y_h \cdot \frac{Y_2 \cdot (1 - a^2) + Y_3 \cdot (1 - a)}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4}$$

Оценим опасность прикосновения к фазному проводу для трех случаев:

1. При равенстве сопротивлений изоляции и емкостей проводов относительно земли, т.е. при $r_1 = r_2 = r_3 = r$, $C_1 = C_2 = C_3 = C_a$ следовательно при $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \underline{Y}_3 = \underline{Y}$. Ток через тело человека в комплексной форме:

$$I_h = U_\phi \cdot Y_h \cdot \frac{Y \cdot (1 - a^2 + 1 - a)}{3 \cdot Y + Y_h}$$

т.к. $(a^2 + a + 1) = 0$

В действительной форме:

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

2. При равенстве сопротивлений изоляции и отсутствии емкостей, т.е. при $r_1 = r_2 = r_3 = r$, $C_1 = C_2 = C_3 = 0$ следовательно при $\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \underline{Y}_3 = \underline{Y} = 1/r$.

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{r}{3}}$$

3. При равенстве емкостей и весьма больших сопротивлениях изоляции, т.е. $r_1 = r_2 = r_3 = r = \infty$; $C_1 = C_2 = C_3 = C$, а следовательно, при

$$\underline{Y}_1 = \underline{Y}_2 = \underline{Y}_3 = \underline{Y} = j\omega C.$$

$$I_h = \frac{U_\phi \cdot 3 \cdot C \cdot \omega}{\sqrt{9 \cdot R_h^2 \cdot \omega^2 \cdot C^2 + 1}} = \frac{U_\phi}{\sqrt{9 \cdot R_h^2 + (1/3 \cdot C \cdot \omega)}}$$

Эти примеры показывают, что в сетях с изолированной нейтралью опасность для человека, прикоснувшегося к одному из фазных проводов в период нормальной работы сети, зависит:

а) от сопротивления проводов относительно земли: с увеличением сопротивления опасность уменьшается;

б) от емкостей проводов относительно земли: с увеличением емкости опасность увеличивается.

Вместе с тем этот случай менее опасен, чем прикосновение в сети с заземленной нейтралью.

При аварийном режиме работы сети, когда возникло замыкание фазы (например, фазы 3) на землю через малое сопротивление $r_{зм}$, проводимости двух других фаз можно принять равными нулю. $Y_1 = Y_2 = 0$, получим

$$I_h = U_\phi \cdot Y_h \cdot \frac{Y_3 \cdot (1 - a)}{Y_3 \cdot Y_h}$$

Производя соответствующие преобразования и имея в виду, что

$$Y_3 = 1/R_{3M}, \quad \underline{Y}_h = 1/R_h$$

получим значение тока в действительной форме.

Напряжение прикосновения будет

$$U_{\text{пр}} = I_h \cdot R_h = U_{\phi} \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{R_h}{R_h + r_{3M}}$$

Напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в период аварийного режима к исправной фазе трехфазной сети с изолированной нейтралью значительно больше фазного и несколько меньше линейного напряжения сети.

Таким образом, этот случай прикосновения во много раз опаснее прикосновения к той же фазе сети при нормальном режиме работы.

Вместе с тем этот случай является более опасным, чем прикосновение к исправной фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде Инженерно-производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Однофазный источник питания	218.1	-220 В /16 А
<i>A1</i>	Модель питающей электрической сети	387.1	-220 В /50ВА
<i>A2</i>	Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1	-220 В
<i>A3</i>	Модель человека	309.1	~ 220 В / 1 кОм
<i>A5</i>	Устройство защитного отключения	321.1	-220 В /16 А/ 10 мА
<i>A8</i>	Модель заземлителя	390	- 220 В 2,10,100,10000 Ом
<i>A11</i>	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	- 220 В / 0,5 А

Методика и порядок выполнения работы

2.1 Работа защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 12.4.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- 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 рисунке 12.4. При этом должно отключиться устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 12.1.
- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели однофазного источника питания *G1* и *A11*, а также – выключатель «ПИТАНИЕ» питающей электрической сети *A1*.

Таблица 12.1 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Рука-рука 1 кОм	Рука-нога 2 кОм	Рука-нога 11 кОм	Рука-нога 101 кОм

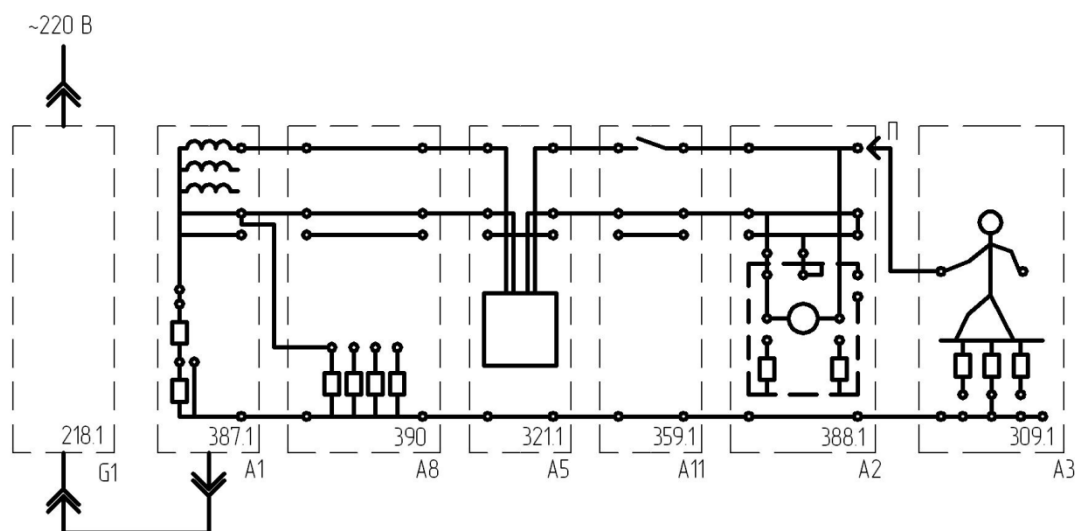


Рисунок 12.4 - Схема для выявления действия защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением

2.2 Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса I

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 12.5 а.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*.
- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием перемычки «*П1*» или «*П2*», в гнезда электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 12.5 а. При этом должно отключиться устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты.

Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 12.1.

- Отключите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений, приведенной на рисунке 12.5 б.

- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием конца проводника «П», в гнездо электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 12.5 б. При этом должен отключиться автоматический выключатель *A11* или устройство защитного отключения *A5* подтверждая, тем самым, действие защиты. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 12.1.

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

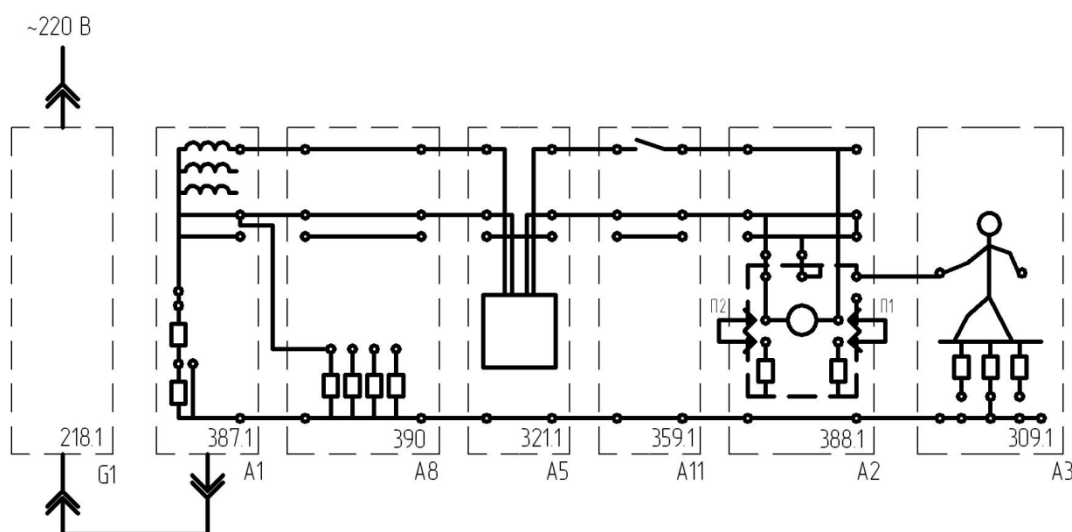


Рисунок 12.5 а – Схема для выявления действия защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса I (снижении сопротивления изоляции фазы до 15 кОм или – рабочего нулевого провода до 1 Ом)

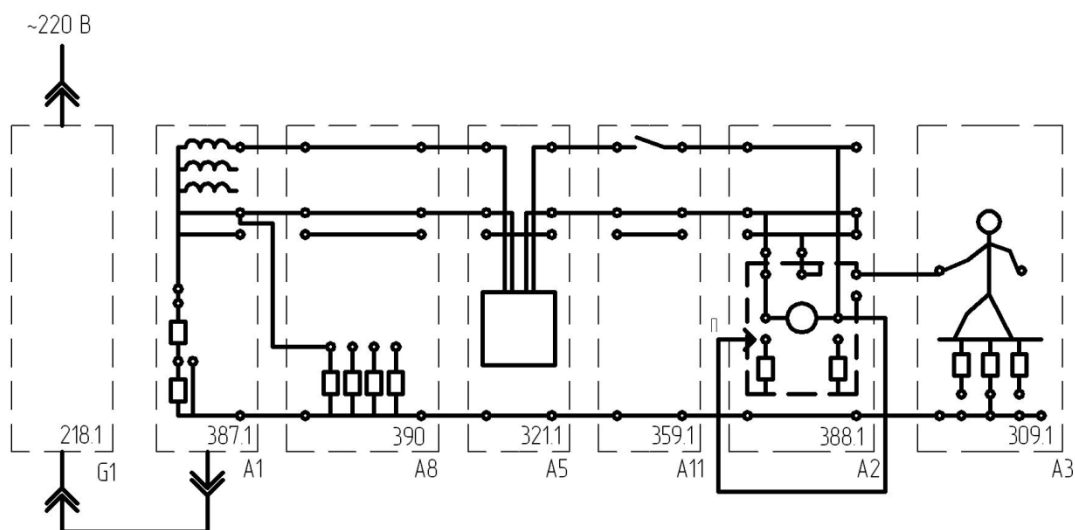


Рисунок 12.5 б – Схема для выявления действия защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса I (снижении сопротивления изоляции фазы до 1 Ом)

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Подтверждение нецелесообразности применения устройства защитного отключения.
3. Подтверждение отсутствия защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением.
4. Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса I.
5. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета и форме устного опроса.

1. От чего зависит опасность для человека, прикоснувшегося к одному из фазных проводов, в сетях с изолированной нейтралью, в период нормальной работы сети?
2. Какой случай прикосновения во много раз опаснее прикосновения к исправной фазе трехфазной сети с заземленной нейтралью при нормальном режиме работы?
3. Оцените опасность прикосновения к фазному проводу для трех случаев.
4. Дать определение системе заземления *TN*.
5. Дать определение системе заземления *TN - C*.

Лабораторная работа № 13

Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления $TN - S$

Цель и содержание работы

Целью данной работы является защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления $TN - S$.

Теоретическое обоснование

Система TN – система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали (занулены) при помощи нулевых защитных 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.

Система $TN - S$ – система TN , в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении (см. рисунок 13.1).

В электроустановках с системами заземления $TN - S$ и $TN - C - S$ электробезопасность потребителя обеспечивается не собственно системами, а устройствами защитного отключения (УЗО), действующими более эффективно в комплексе с этими системами заземления и системой уравнивания потенциалов

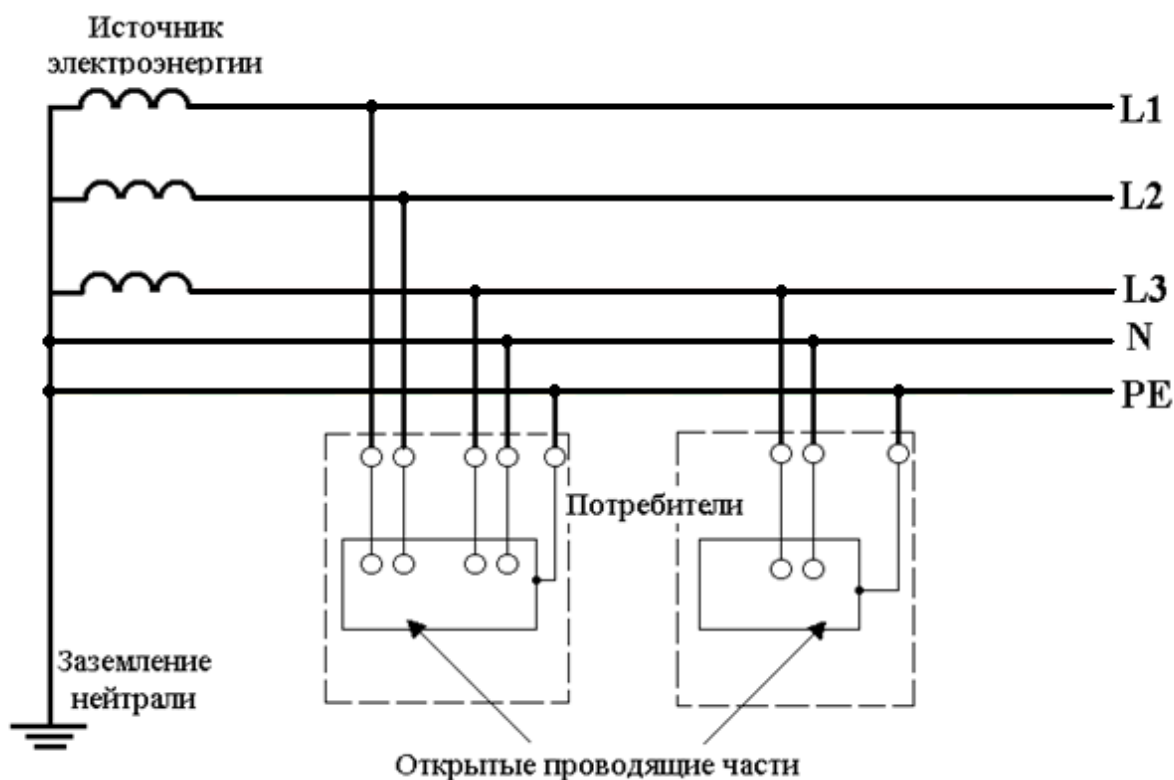


Рисунок 13.1 – Система $TN - S$

Собственно, сами системы заземления (без УЗО) не обеспечивают необходимой безопасности. Например, при пробое изоляции на корпус электроприбора или какого-либо аппарата, при отсутствии УЗО отключение этого потребителя от сети осуществляется устройствами защиты от сверхтоков – автоматическими выключателями или плавкими вставками.

Быстродействие устройств защиты от сверхтоков, во-первых, уступает быстродействию УЗО, а, во-вторых, зависит от многих факторов — кратности тока короткого замыкания, которая, в свою очередь, зависит от сопротивления проводников, переходного сопротивления в месте повреждения изоляции, длины линий, точности калибровки автоматических выключателей и др.

Наличие на объекте металлических корпусов, арматуры и пр., соединенных с PE - проводником, повышает опасность электропоражения, поскольку в этом случае вероятность образования цепи «токоведущий проводник – тело человека – земля» гораздо выше. Только УЗО осуществляет защиту от прямого прикосновения.

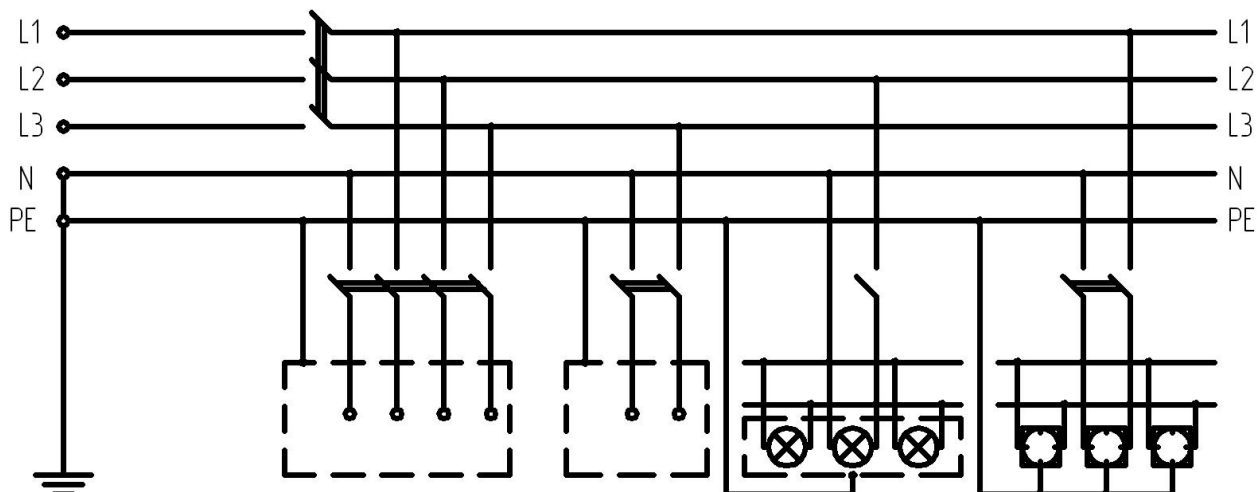


Рисунок 13.2 – Система *TN-S*

Внедрение систем *TN - S* и *TN – C - S* в европейских странах, к опыту которых мы вынуждены постоянно обращаться, поскольку там рассматриваемые проблемы решались на два десятилетия раньше, также проходило с большими трудностями. Например, в литературе описан случай, когда электромонтер при подключении одного объекта ошибочно подключил фазу на защитный проводник, что повлекло за собой смертельное поражение нескольких человек.

В плане обеспечения условий электробезопасности при эксплуатации электроустановки серьезной альтернативой вышерассмотренным системам заземления является сравнительно новое, но все более широко применяемое эффективное электрозащитное средство — двойная изоляция.

Достижения химической промышленности в области производства пластиков и керамик, имеющих великолепные механические и электроизоляционные характеристики, позволили значительно расширить ассортимент электробезопасных электроприборов и электроинструментов в исполнении «двойная изоляция», при применении которых тип системы заземления в плане обеспечения условий электробезопасности не имеет значения. Изделия в исполнении «двойная изоляция» маркируются знаком 0.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде Инженерно-производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Однофазный источник питания	218.1	-220 В /16 А
<i>A1</i>	Модель питающей электрической сети	387.1	-220 В /50 ВА
<i>A2</i>	Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1	-220 В
<i>A3</i>	Модель человека	309.1	~ 220 В /1 кОм
<i>A5</i>	Устройство защитного отключения	321.1	-220В /16 А/ 10 мА
<i>A8</i>	Модель заземлителя	390	-220 В / 2,10,100,10000 Ом
<i>A11</i>	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	- 220 В / 0,5 А

Методика и порядок выполнения работы

3.1 Работа защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 13.3.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.

- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- 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 рисунке 13.3. При этом должно отключиться устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 13.1.
- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели однофазного источника питания *G1* и *A11*, а также - выключатель «ПИТАНИЕ» модели питающей электрической сети *A1*.

Таблица 13.1 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Рука-рука 1 кОм	Рука-нога 2 кОм	Рука-нога 11 кОм	Рука-нога 101 кОм

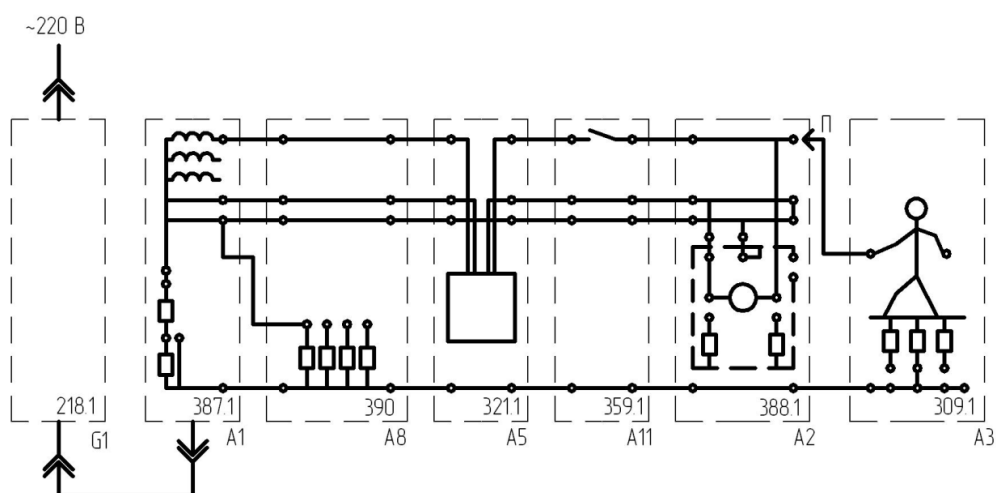


Рисунок 13.3 – Схема для выявления действия защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением

3.2 Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса I

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 13.4 а.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*.
- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием перемычки «*П 1*» или «*П 2*», в гнезда электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 13.4 а. При этом должно отключиться устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 13.1.
- Отключите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 13.4 б.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием конца проводника «*П*», в гнездо электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 13.4 б. При этом должен отключиться автоматический выключатель *A11* или устройство защитного отключения *A5* подтверждая, тем самым, действие защиты. По завершении эксперимента отключите

автоматические выключатели однофазного источника питания *G1* и *A11*, а также - выключатель «ПИТАНИЕ» модели питающей электрической сети *A1*.

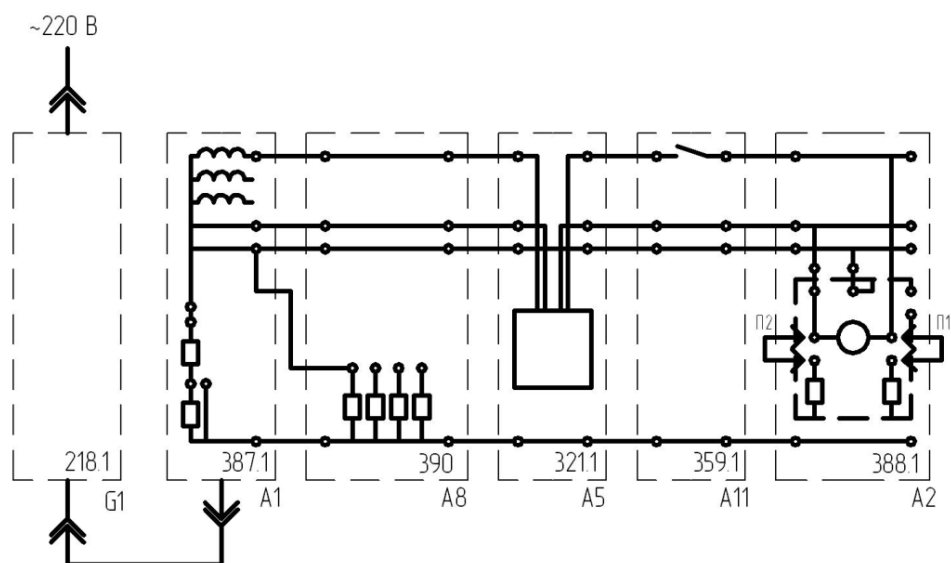


Рисунок 13.4 а – Схема для выявления действия защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса I (снижении сопротивления изоляции фазы до 15 кОм или – рабочего нулевого провода до 1 Ом)

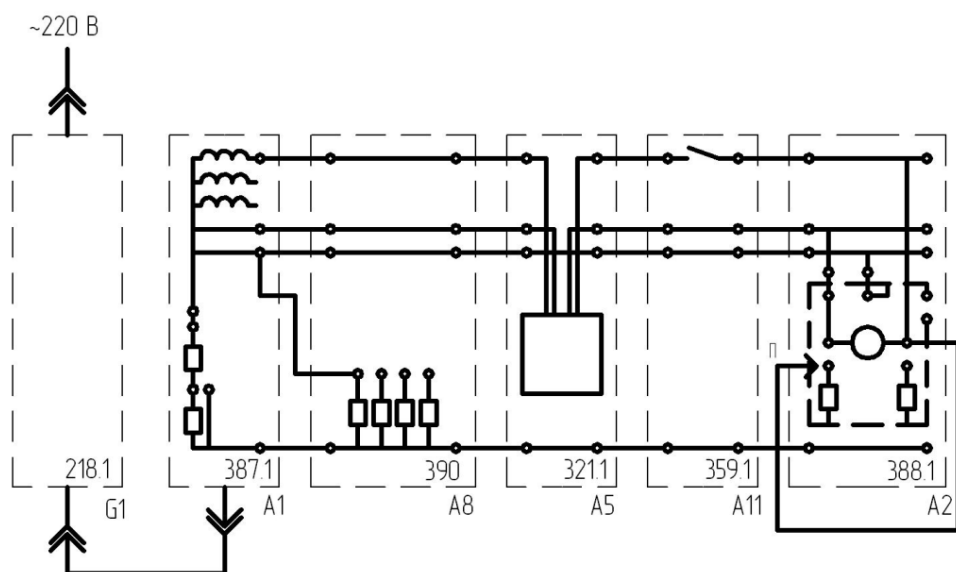


Рисунок 13.4 б – Схема для выявления действия защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса I (снижении сопротивления изоляции фазы до 1 Ом)

3.3 Работа защиты при ошибочном присоединении нулевых рабочего и защитного проводников

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 13.5.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом, должно сработать устройство защитного отключения подтверждая, тем самым, действие защиты.

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

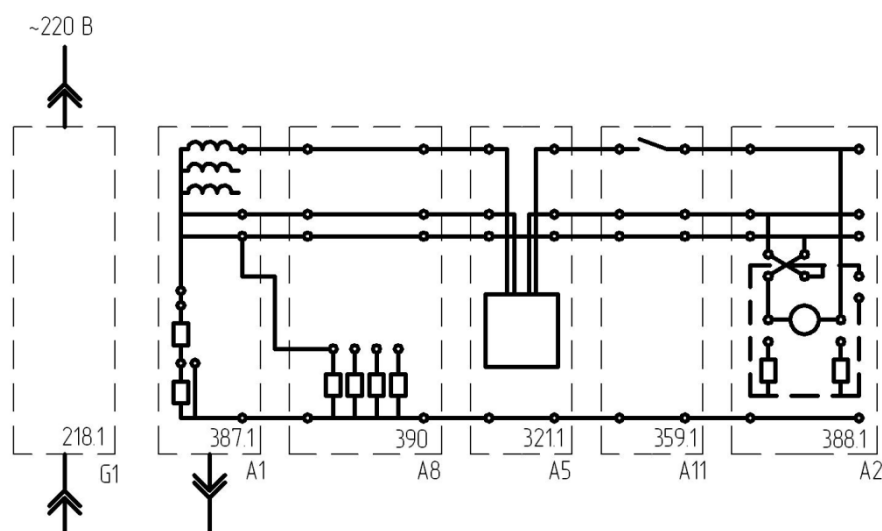


Рисунок 13.5 – Схема для выявления действия защиты при ошибочном соединении нулевых рабочего и защитного проводников

3.4 Работа защиты при обрыве нулевого защитного проводника

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 13.6.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*.
- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием перемычки «*II*» в гнезда электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 13.6. При этом должно отключиться устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты.

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

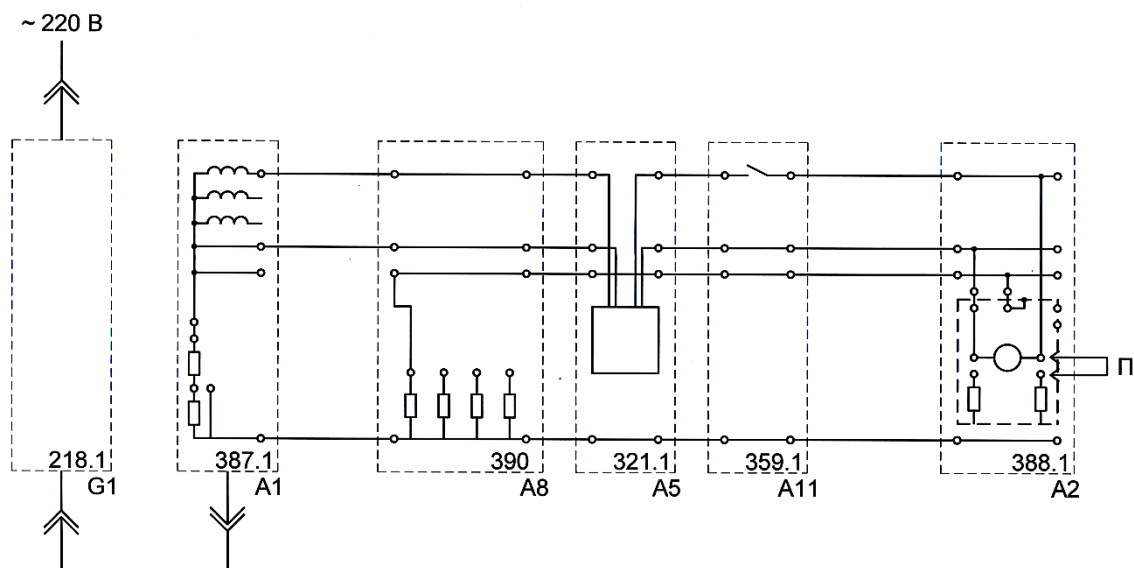


Рисунок 13.6 – Схема для выявления действия защиты при обрыве нулевого защитного проводника

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Подтверждение нецелесообразности применения устройства защитного отключения.
3. Подтверждение отсутствия защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением.
4. Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса I.
5. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета и форме устного опроса.

1. Дать определение системе TN .
2. Дать определение нулевому рабочему проводнику.
3. Дать определение системе $TN - S$.
4. Чем обеспечивается электробезопасность потребителя в электроустановках с системами заземления $TN - S$?
5. Наличие на объекте каких элементов, соединенных с PE -проводником, повышает опасность электропоражения и почему?

Лабораторная работа № 14

Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN - C - S

Цель и содержание работы

Целью данной работы является защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN - C - S

Теоретическое обоснование

Система TN - система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземленной нейтрали (занулены) при помощи нулевых защитных проводников.

В электроустановках с системами заземления TN - S и TN - C - S электробезопасность потребителя обеспечивается не собственно системами, а устройствами защитного отключения (УЗО), действующими более эффективно в комплексе с этими системами заземления и системой уравнивания потенциалов.

Собственно, сами системы заземления (без УЗО) не обеспечивают необходимой безопасности. Например, при пробое изоляции на корпус электроприбора или какого-либо аппарата, при отсутствии УЗО отключение этого потребителя от сети осуществляется устройствами защиты от сверхтоков – автоматическими выключателями или плавкими вставками.

Быстродействие устройств защиты от сверхтоков, во-первых, уступает быстродействию УЗО, а, во-вторых, зависит от многих факторов – кратности тока короткого замыкания, которая, в свою очередь, зависит от сопротивления проводников, переходного сопротивления в месте повреждения изоляции, длины линий, точности калибровки автоматических выключателей и др.

Наличие на объекте металлических корпусов, арматуры и пр., соединенных с PE – проводником, повышает опасность электропоражения, поскольку в этом случае вероятность образования цепи «токоведущий проводник – тело человека – земля» гораздо выше. Только УЗО осуществляет защиту от прямого прикосновения.

Внедрение систем $TN - S$ и $TN - C - S$ в европейских странах, к опыту которых мы вынуждены постоянно обращаться, поскольку там рассматриваемые проблемы решались на два десятилетия раньше, также проходило с большими трудностями. Например, в литературе описан случай, когда электромонтер при подключении одного объекта ошибочно подключил фазу на защитный проводник, что повлекло за собой смертельное поражение нескольких человек.

В плане обеспечения условий электробезопасности при эксплуатации электроустановки серьезной альтернативой вышерассмотренным системам заземления является сравнительно новое, но все более широко применяемое эффективное электрозащитное средство – двойная изоляция.

Достижения химической промышленности в области производства пластиков и керамик, имеющих великолепные механические и электроизоляционные характеристики, позволили значительно расширить ассортимент электробезопасных электроприборов и электроинструментов в исполнении «двойная изоляция», при применении которых тип системы заземления в плане обеспечения условий электробезопасности не имеет значения. Изделия в исполнении «двойная изоляция» маркируются знаком 0.

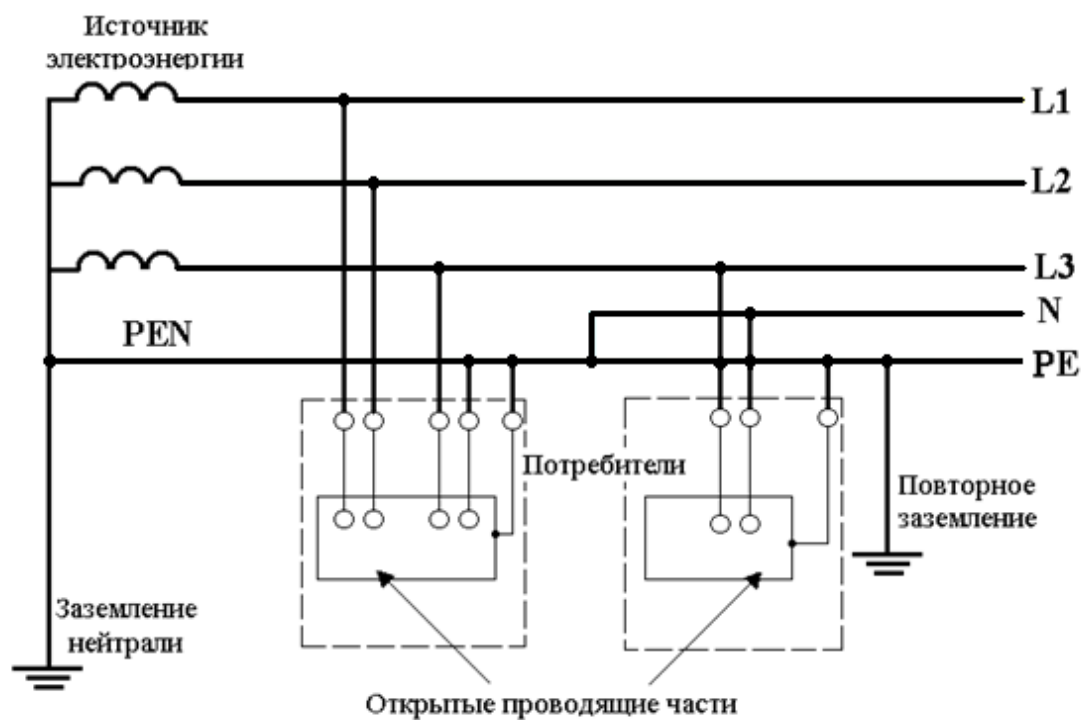


Рисунок 14.1 – Система $TN - C - S$

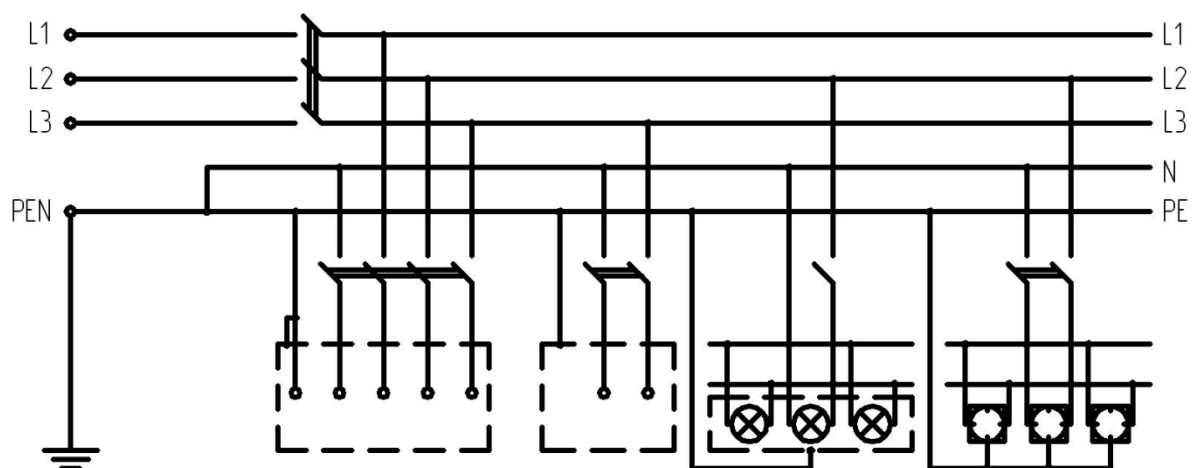


Рисунок 14.2 – Система $TN - C - S$

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде Инженерно-производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Однофазный источник питания	218.1	-220 В /16 А
<i>A1</i>	Модель питающей электрической сети	387.1	-220 В /50ВА
<i>A2</i>	Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1	-220 В
<i>A3</i>	Модель человека	309.1	- 220 В /1 кОм
<i>A5</i>	Устройство защитного отключения	321.1	-220 В /16 А/ 10 мА
<i>A8</i>	Модель заземлителя	390	-220 В / 2, 10, 100, 10000 Ом
<i>A11</i>	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	- 220 В / 0,5 А

Методика и порядок выполнения работы

4.1 Работа защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 14.3.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- 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 рисунке 14.3. При этом

должно отключиться устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 14.1.

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

Таблица 14.1 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Рука-рука 1 кОм	Рука-нога 2 кОм	Рука-нога 11 кОм	Рука-нога 101 кОм

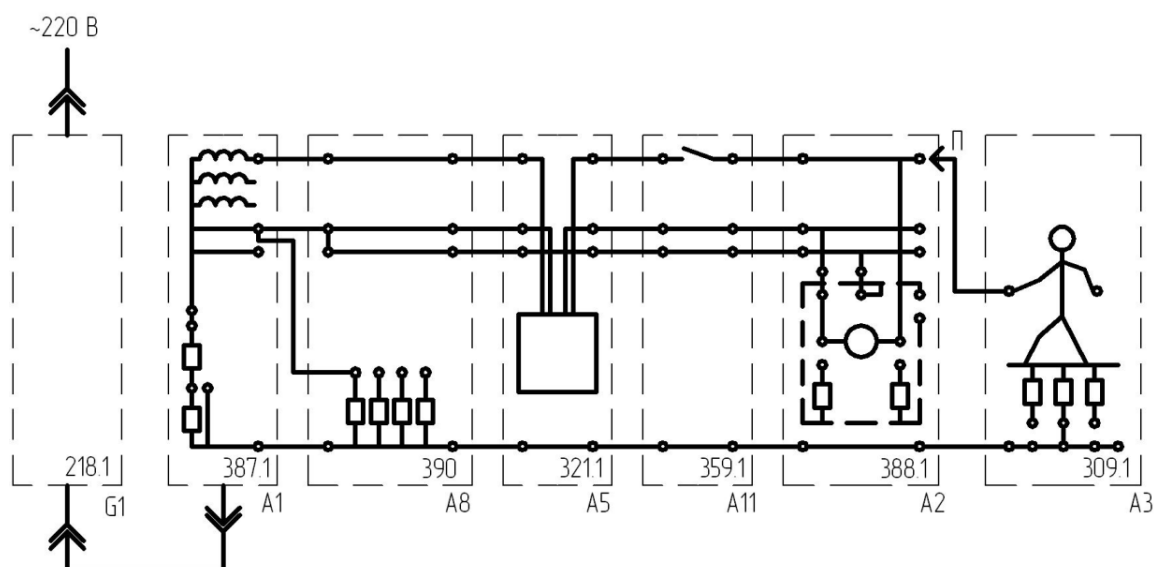


Рисунок 14.3 – Схема для выявления действия защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением

4.2 Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса I

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 14.4 а.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*

питающей электрической сети.

- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.

- Включите устройство защитного отключения *A5*.

- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.

- Включите автоматический выключатель *АН*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*.

- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием перемычки «*П 1*» или «*П 2*», в гнезда электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 14.4 а. При этом должно отключиться устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты.

- Отключите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 14.4 б.

- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.

- Включите устройство защитного отключения *A5*.

- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием конца проводника «*П*», в гнездо электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 14.4 б. При этом должен отключиться автоматический выключатель *A11* или устройство защитного отключения *A5* подтверждая, тем самым, действие защиты.

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

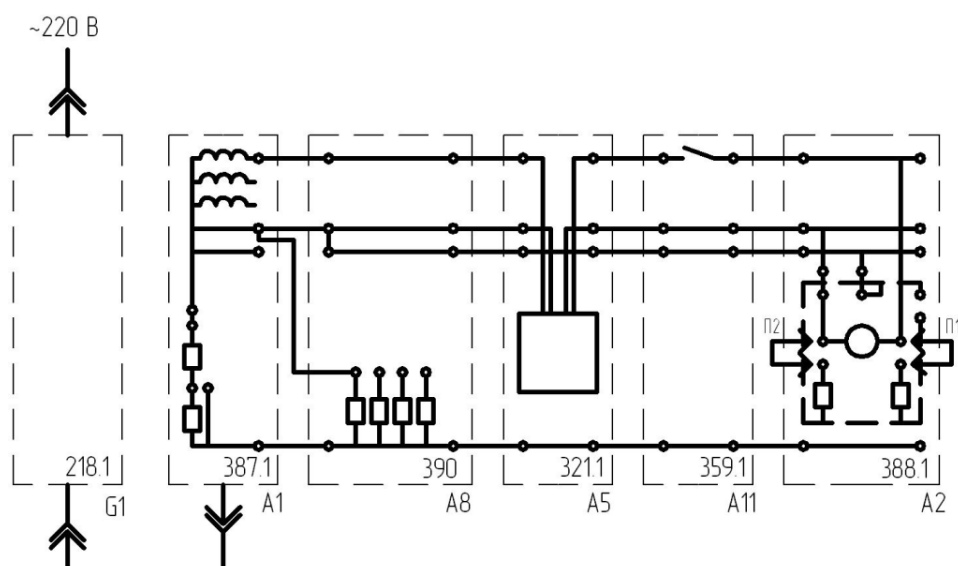


Рисунок 14.4 а – Схема для выявления действия защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса I (снижении сопротивления изоляции фазы до 15 кОм или – рабочего нулевого провода до 1 Ом)

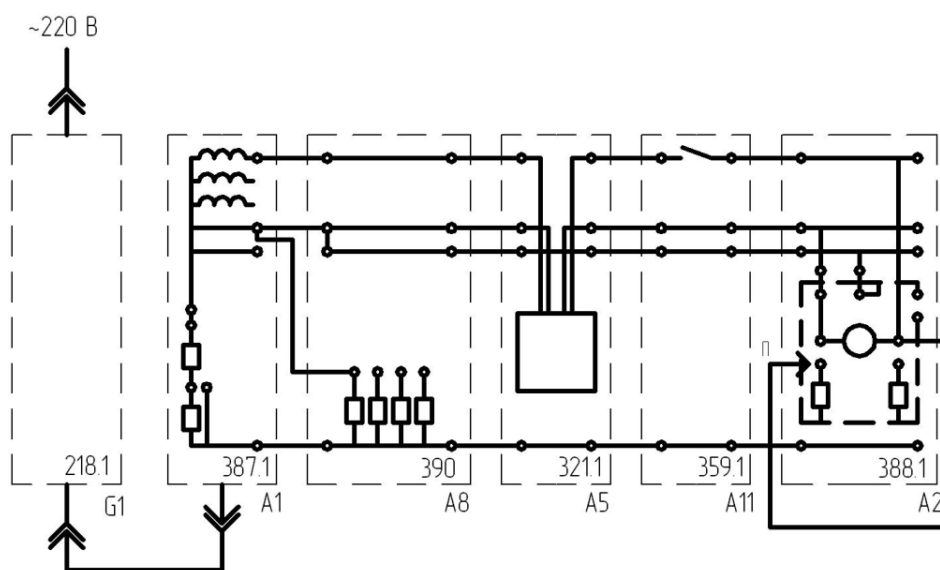


Рисунок 14.4 б – Схема для выявления действия защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса I (снижении сопротивления изоляции фазы до 1 Ом)

4.3 Работа защиты при ошибочном присоединении нулевых рабочего и защитного проводников

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 14.5.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *AH*. При этом должно сработать устройство защитного отключения подтверждая, тем самым, действие защиты.

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

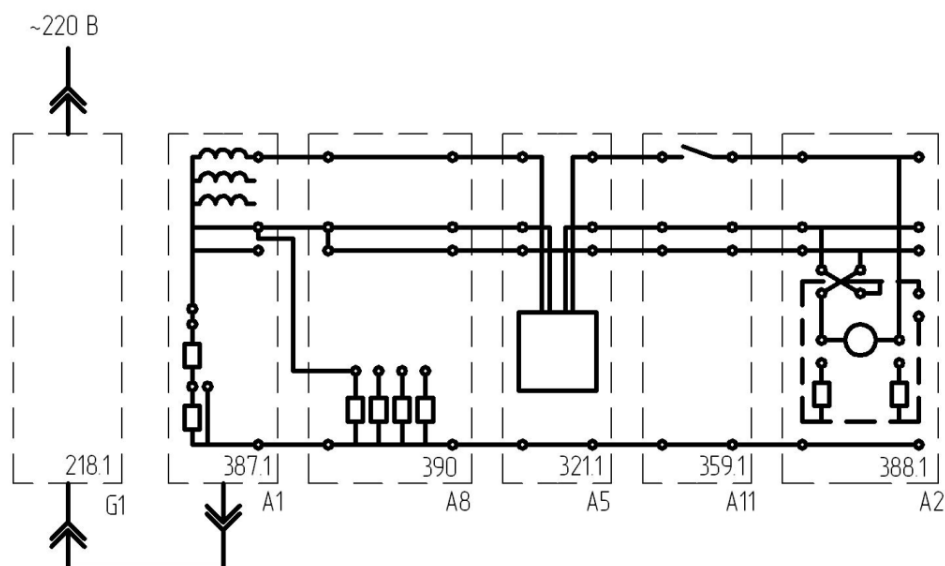


Рисунок 14.5 – Схема для выявления действия защиты при ошибочном присоединении нулевых рабочего и защитного проводников

4.4 Работа защиты при обрыве нулевого защитного проводника

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 14.6.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *AH*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*.
- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием перемычки «П» в гнезда электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 14.6. При этом должно отключиться устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты.

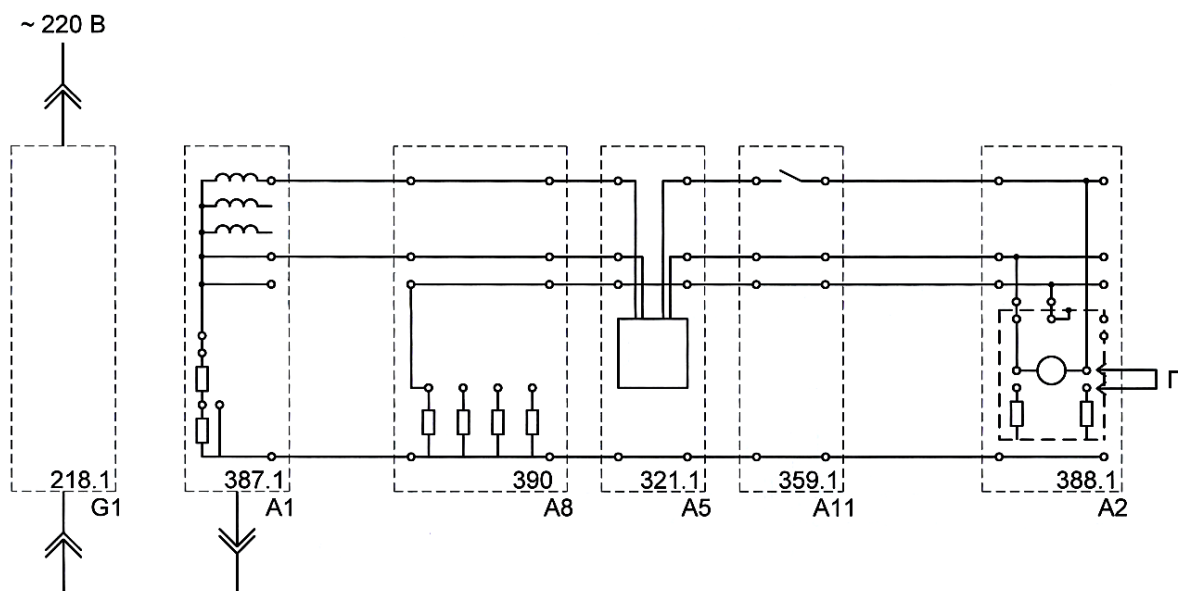


Рисунок 14.6 – Схема для выявления действия защиты при обрыве нулевого защитного проводника

По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели однофазного источника питания $G1$ и All , а также выключатель «ПИТАНИЕ» модели питающей электрической сети AI .

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Подтверждение нецелесообразности применения устройства защитного отключения.
3. Подтверждение отсутствия защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением.
4. Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса I.
5. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета и форме устного опроса.

1. Дать определение системе TN .
2. Дать определение системе $TN - C - S$.
3. Чем обеспечивается электробезопасность потребителя в электроустановках с системами заземления $TN - C - S$?
4. Наличие на объекте каких элементов, соединенных с PE -проводником, повышает опасность электропоражения и почему?

Лабораторная работа № 15

Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TT

Цель и содержание работы

Целью данной работы является защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления *TT*

Теоретическое обоснование

Система *TT* – система, в которой нейтраль источника электроэнергии глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземленной нейтрали источника.

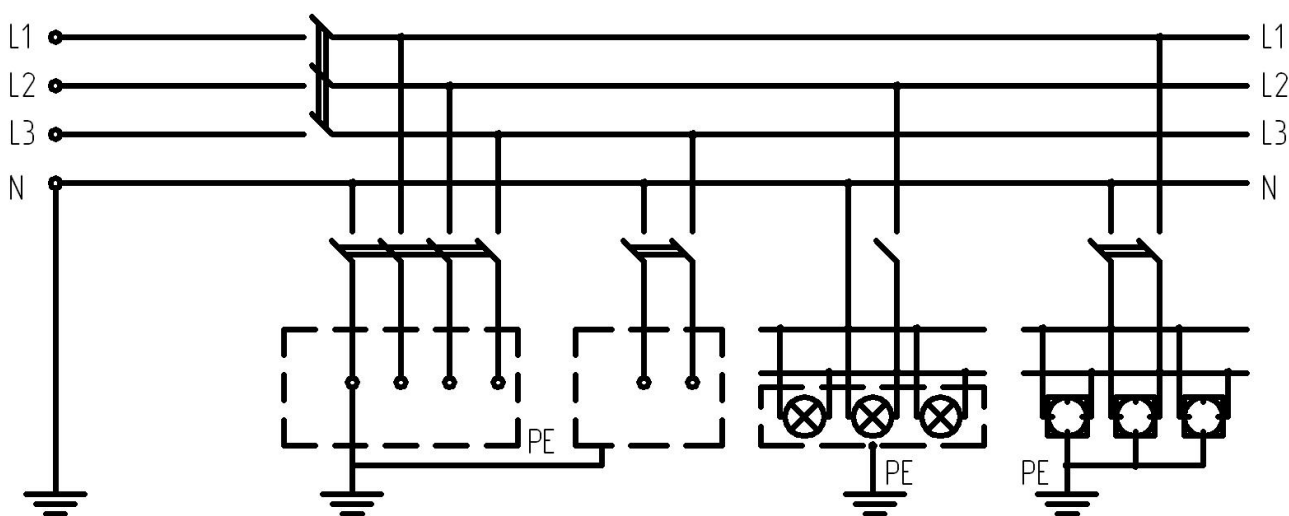


Рисунок 15.1 – Схема заземления *TT*

Рассмотрим систему *TT* (рисунок 15.1). Все открытые проводящие части, защищенные одним защитным устройством, должны присоединяться защитным проводником к одному заземляющему устройству. Если несколько защитных устройств установлены последовательно, то это требование применяется отдельно к каждой группе открытых проводящих частей,

защищаемой каждым устройством.

Нейтральная точка или, если таковой не существует, фаза питающего генератора, или трансформатора должны быть заземлены. Должно выполняться следующее условие: $R_A \cdot I_a < 50 \text{ В}$, где R_A — суммарное сопротивление заземлителя и заземляющего проводника; I_a — ток срабатывания защитного устройства.

Если защитное устройство является устройством защитного отключения и реагирует на дифференциальный ток, то под I_a подразумевается уставка защитного устройства по дифференциальному току I_{Dn} .

Если защитное устройство — устройство защиты от сверхтока, то оно должно быть либо устройством с обратно зависимой времятоковой характеристикой и I_a — значение тока, обеспечивающее время срабатывания устройства не более 5 с, либо устройством с отсечкой тока и тогда I_a — уставка по току отсечки.

В системе TT устройства защиты от сверхтока могут использоваться для защиты от косвенного прикосновения только в электроустановках, имеющих заземляющие устройства с очень малым сопротивлением.

При этом гарантированное отключение питания электроустановки должно производиться при появлении на открытых проводящих частях электроустановки напряжения не более 50 В.

На рисунке 15.2 показан пример применения УЗО в электроустановке системы TT .

В реальных условиях осуществить автоматическое отключение питания электроустановки системы TT с помощью автоматических выключателей по ряду причин (необходимости обеспечения большой кратности тока короткого замыкания, низкого сопротивления заземляющего устройства и др.) весьма проблематично.

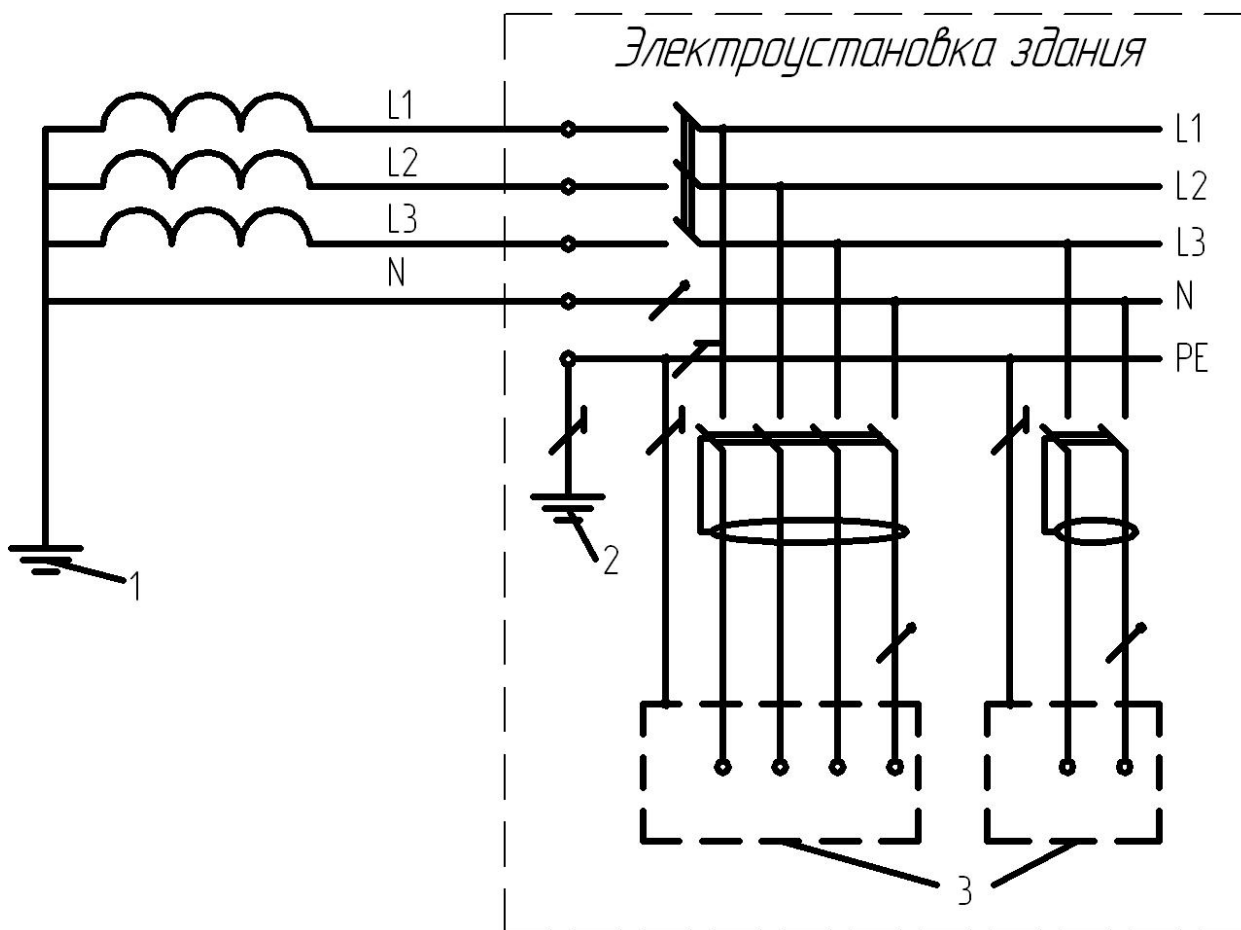


Рисунок 15.2 – Применение УЗО в системе TT

1 – заземление источника питания;

2 – защитное заземление электроустановки здания;

3 – открытые проводящие части.

Эффективное решение проблемы автоматического отключения питания дает применение чувствительных УЗО.

Для обеспечения условий электробезопасности в системе TT применения УЗО обязательно. При этом уставка (номинальный отключающий дифференциальный ток) должна быть меньше значения тока замыкания на заземленные открытые проводящие части при напряжении на них 50 В относительно зоны нулевого потенциала.

Это означает, что в электроустановках индивидуальных жилых домов, коттеджей, дачных (садовых) домов и других частных сооружений, где не всегда имеется возможность выполнить заземлитель с требуемыми нормами

параметрами, необходимо применять систему TT с обязательной установкой УЗО. В этом случае требования к значению сопротивления заземлителя значительно снижаются

Допустимые значения сопротивления заземления R в зависимости от номинального отключающего дифференциального тока I применяемого УЗО приведены в таблице 15.1.

Таблица 15.1 – Допустимые значения сопротивления заземления R в зависимости от номинального отключающего дифференциального тока

I , мА	10	30	100	300	500
R , Ом	5000	1650	500	165	100

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде Инженерно-производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

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 /50ВА
$A2$	Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1	-220 В
$A3$	Модель человека	309.1	- 220 В/1 кОм
$A5$	Устройство защитного отключения	321.1	-220В /16А/ 10 мА
$A8,A12$	Модель заземлителя	390	-220 В / 2,10,100, 10000 Ом
$A11$	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	-220 В /0,5 А

Методика и порядок выполнения работы

5.1 Работа защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 15.3.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- 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 рисунке 15.3. При этом должно сработать устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 15.2.
- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели однофазного источника питания *G1* и *A11*, а также - выключатель «ПИТАНИЕ» модели питающей электрической сети *A1*.

Таблица 15.2 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Рука-рука 1 кОм	Рука-нога 2 кОм	Рука-нога 11 кОм	Рука-нога 101 кОм

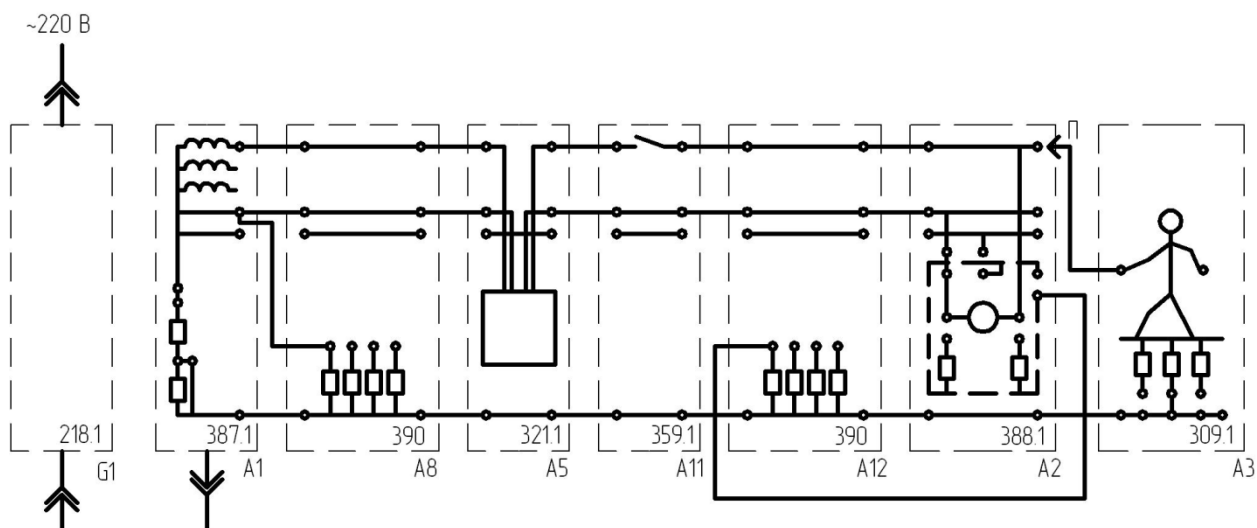


Рисунок 15.3 – Схема для выявления действия защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением

5.2 Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса 01

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 5.4 а.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*.
- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием перемычки «П 1» или «П 2», в гнезда электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 15.4 а. При этом должно сработать устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты.

- Отключите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 15.4 б.

- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием конца проводника «П», в гнездо электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 15.4 б. При этом должен отключиться автоматический выключатель *A11* или сработать устройство защитного отключения *A5* подтверждая, тем самым, действие защиты.

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

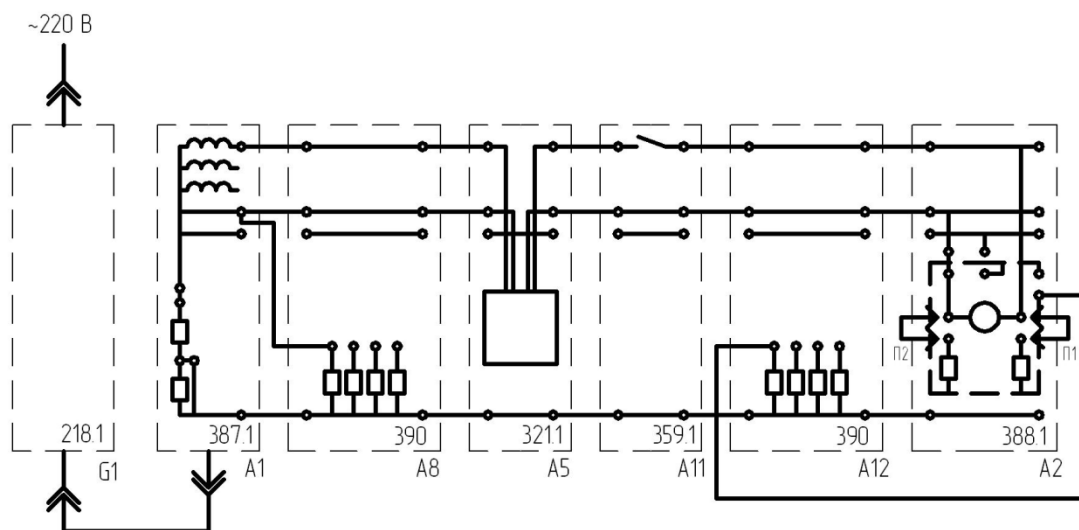


Рисунок 15.4 а – Схема для выявления действия защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса 01 (снижении сопротивления изоляции фазы до 15 кОм или - рабочего нулевого провода до 1 Ом)

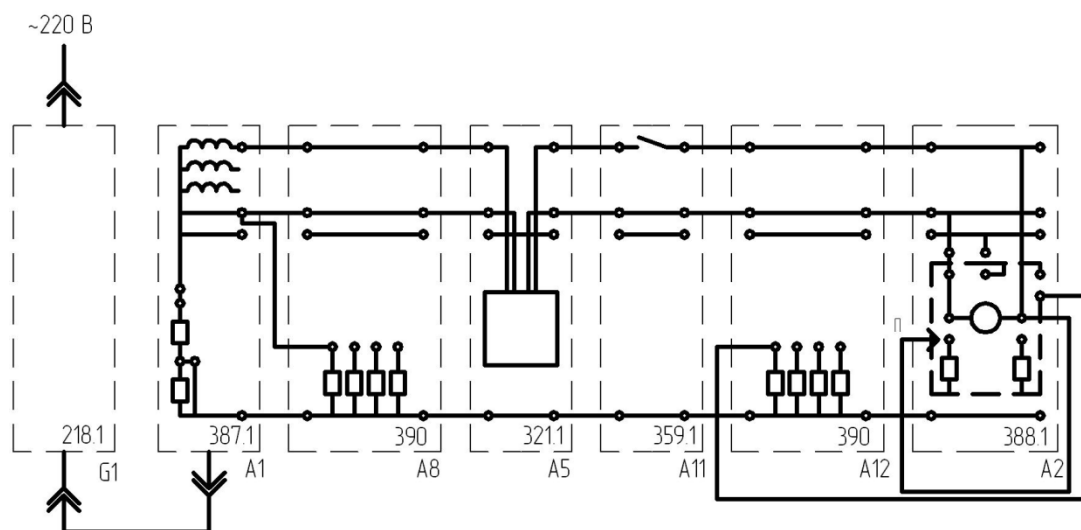


Рисунок 15.4 б – Схема для выявления действия защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса 01 (снижении сопротивления изоляции фазы до 1 Ом)

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Подтверждение нецелесообразности применения устройства защитного отключения
3. Подтверждение отсутствия защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением
4. Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса I
5. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета и форме устного опроса.

1. Дать определение системе TT .
2. Каковы причины проблематичного автоматического отключения в реальных условиях питания электроустановки системы TT ?
3. В каких случаях необходимо применять систему TT с обязательной установкой УЗО?
4. Если не существует нейтральной точки, какие элементы должны быть заземлены?

Лабораторная работа № 16

Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления IT

Цель и содержание работы

Целью данной работы является защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления IT

Теоретическое обоснование

Система IT – система, в которой нейтраль источника электроэнергии изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части электроустановки заземлены (см. рисунок 16.1). В этом случае защитный заземляющий проводник обозначается так же, как и нулевой защитный проводник, т.е. PE – проводник

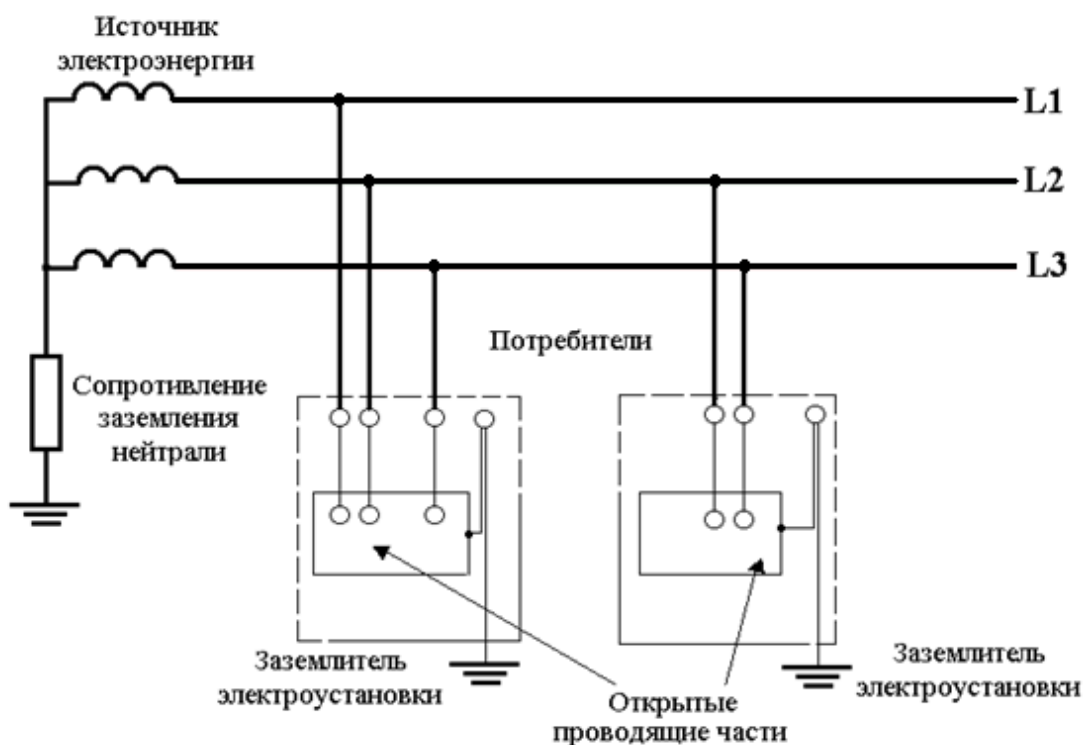


Рисунок 16.1 – Система IT

Анализ электробезопасности сетей типа *IT*

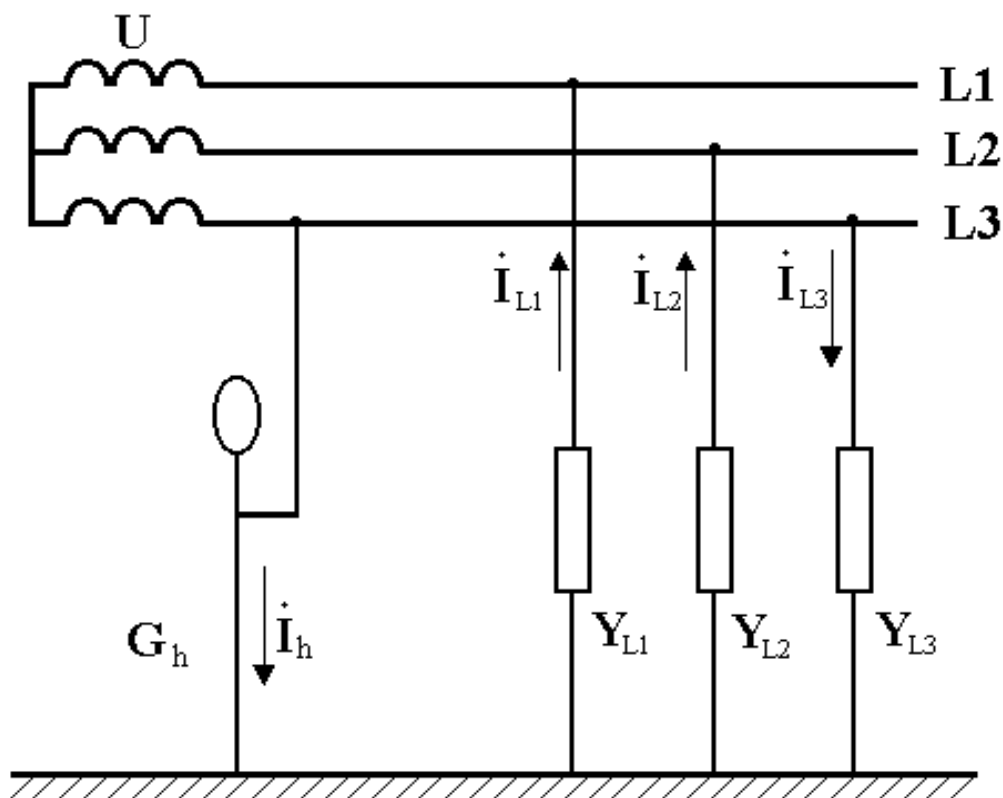


Рисунок 16.2 – Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью типа *IT* при нормальном режиме работы

Для трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью типа *IT*, напряжением до 1 кВ (рисунок 16.2) характерным является то, что при однофазном прикосновении значение тока, проходящего через тело человека при нормальном режиме работы сети, тем меньше, чем меньше рабочее напряжение сети (фазное напряжение) и чем больше значение сопротивления изоляции проводов относительно земли. Действительно, ток через тело человека и напряжение прикосновения описываются следующими выражениями, при условии, что $Y_0 = 0$; $Y_{PEN} = 0$:

$$I_h^* = U \cdot G_h \cdot \frac{Y_{L2}(1 - a^2) + Y_{L3}(1 - a)}{Y_{L1} + Y_{L2} + Y_{L3} + G_h}, U_h^* = U \cdot \frac{Y_{L2}(1 - a^2) + Y_{L3}(1 - a)}{Y_{L1} + Y_{L2} + Y_{L3} + G_h},$$

где Y_{L1} , Y_{L2} , Y_{L3} – полные проводимости изоляции фазных проводов относительно земли в комплексной форме:

$$Y_{L1} = \frac{1}{R_{L1}} + j\omega \cdot C_{L1}; Y_{L2} = \frac{1}{R_{L2}} + j\omega \cdot C_{L2}; Y_{L3} = \frac{1}{R_{L3}} + j\omega \cdot C_{L3};$$

где U – действующее значение фазного напряжения сети;

$G_h = 1/R_h$ – проводимость тела человека;

ω – фазный оператор трехфазной системы, учитывающий сдвиг фаз.

При равенстве проводимостей фазных проводов относительно земли $Y_{L1} = Y_{L2} = Y_{L3} = Y$ (т.е. при равенстве сопротивлений изоляции и емкостей фазных проводов относительно земли $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R$ и $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C$) ток через тело человека и напряжение прикосновения определяется:

$$I_h^* = U \cdot G_h \cdot \frac{3 \cdot Y}{3 \cdot Y + G_h};$$

или

$$I_h^* = \frac{U}{R_h + Z/3},$$

где Z – полное сопротивление фазного провода относительно земли в комплексной форме

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega \cdot C},$$

где R – активное сопротивление изоляции фазного провода относительно земли;

C – емкость фазного провода относительно земли.

В действительной форме этот ток равен

$$I_h = \frac{U}{R_h} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R \cdot (R + 6R_h)}{9 \cdot R_h^2 (1 + R^2 \cdot \omega^2 \cdot C^2)}}}.$$

При равенстве сопротивлений изоляции фазных проводов относительно земли $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R$ и отсутствии емкостей, т.е. $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C = 0$, выражение упрощается

$$I_h = \frac{U}{R_h + R/3}.$$

Таким образом, в сетях с изолированной нейтралью при нормальном

режиме работы опасность для человека при прямом однофазном прикосновении зависит от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли. С увеличением сопротивления изоляции и уменьшении емкости фазных проводов относительно земли опасность уменьшается. Этот вывод иллюстрируется графиками зависимости $I_h = f(R)$ при $C = 0$ (что может иметь место в коротких сетях) и $I_h = f(C)$ при $R = \text{const}$, представленными на рисунке 16.3.

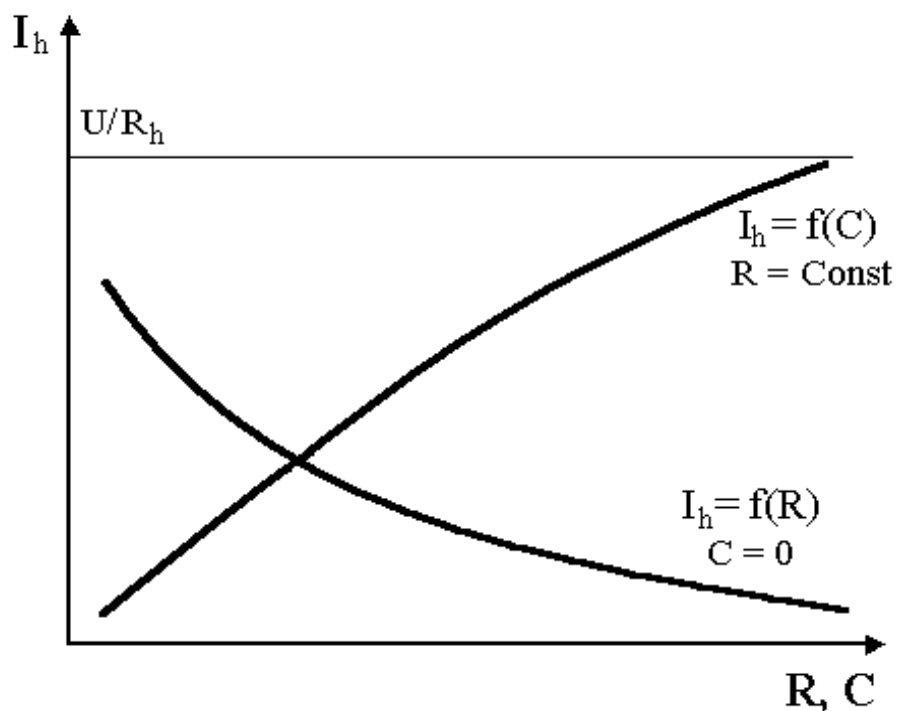


Рисунок 16.3 – Зависимость значения тока, протекающего через тело человека, прикоснувшегося к фазному проводу в сети IT с симметричными параметрами в нормальном режиме работы, от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли

При аварийном режиме работы сети (рисунок 16.4), когда один из фазных проводов, например, провод L_2 , замкнулся на землю, опасность поражения током человека, прикоснувшегося к исправному фазному проводу, значительно возрастает.

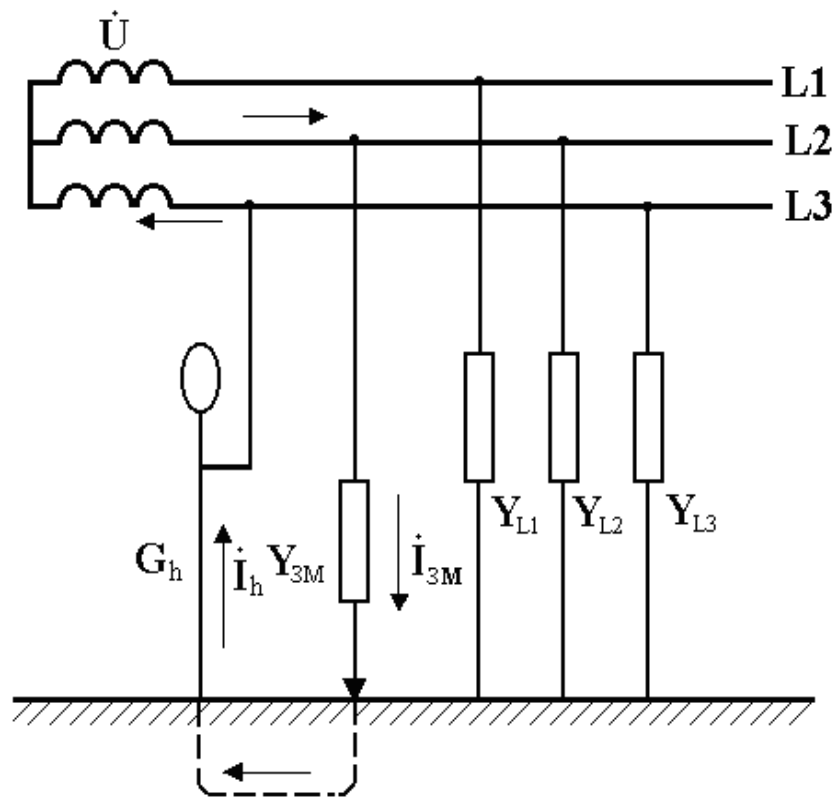


Рисунок 16.4 – Однофазное прикосновение к исправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа IT при аварийном режиме работы

В этом случае ток через тело человека будет равен:

$$I_h = \frac{U \cdot \sqrt{3}}{R_h + R_{3M}},$$

где R_{3M} – сопротивление растеканию тока в месте замыкания фазного провода на землю (на рисунке 16.4 – фазного провода L_2).

Так как обычно выполняется условие $R_{3M} \ll R_h$, то:

$$I_h = \frac{U \cdot \sqrt{3}}{R_h}; U_h = U \cdot \sqrt{3}.$$

При аварийном режиме работы сети типа IT, когда человек касается провода, замкнувшегося на землю (рисунке 16.5; человек касается фазного провода L_3) ток через тело человека будет определяться падением напряжения на сопротивлении растеканию тока в месте замыкания на землю R_{3M} :

$$I_h = \frac{I_{3M} \cdot R_{3M}}{R_h} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2,$$

где I_{3M} – ток замыкания на землю;

α_1, α_2 – коэффициенты напряжения прикосновения.

При $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$

$$I_h = \frac{I_{3M} \cdot R_{3M}}{R_h}$$

Ток замыкания на землю в сети IT зависит от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли, сопротивления растеканию R_{3M}, R_h . Если принять во внимание, что обычно $R_{3M} \ll R_h$, то

$$I_{3M} = \frac{U}{(R_{3M} + Z/3)}$$

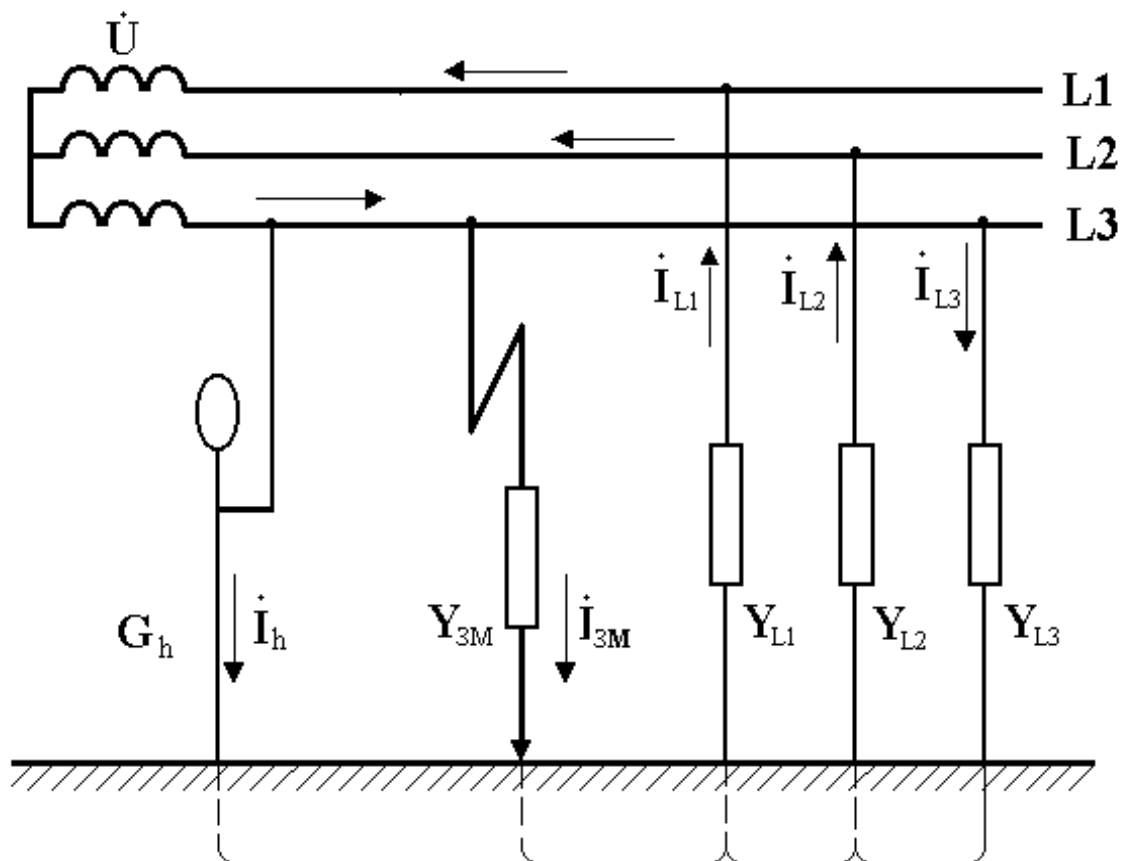


Рисунок 16.5 – Однофазное прикосновение к неисправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа IT при аварийном режиме работы

В действительности ток замыкания на землю будет меньше, что более безопасно для человека.

Таким образом, прикосновение к неисправному фазному проводу

(замкнувшемуся на землю) в сети IT значительно менее опасно, чем к исправному. Значение тока, протекающего через тело человека, в этом случае меньше, чем при прямом однофазном прикосновении в нормальном режиме работы.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде Инженерно-производственного центра «Учебная техника» и данных методических указаний.

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 /50ВА
$A2$	Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1	-220 В
$A3$	Модель человека	309.1	- 220 В /1 кОм
$A5$	Устройство защитного отключения	321.1	-220 В /16 А/ 10мА
$A7$	Модель участка электрической сети	303.1	- 220 В / 0,5 А
$A8$	Модель заземлителя	390	-220 В / 2, 10, 100, 10000 Ом
$A10$	Разделительный трансформатор	391	25 ВА 220/220 В
$A11$	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	-220 В /0,5 А
$P1$	Блок мультиметров	509.2	2мультиметра О...1000В=;; О...10А^ 0...20МОм

Методика и порядок выполнения работы

6.1 Подтверждение нецелесообразности применения устройства защитного отключения

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 16.1.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*.
- Смоделируйте нарушение изоляции фазы втыканием конца проводника «*II*» в гнездо источника *G1*, как это показано на рисунке 16.1. При этом должно ложно сработать устройство защитного отключения *A5*, что подтверждает нецелесообразность его применения в этом случае.

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

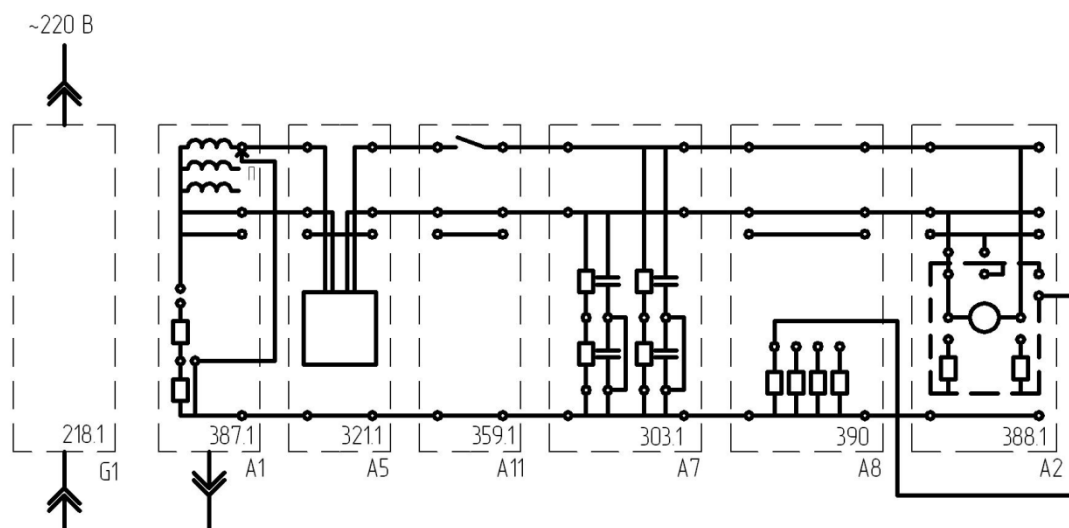


Рисунок 16.1 – Схема для подтверждения нецелесообразности применения устройства защитного отключения

6.2 Контроль изоляции электрической сети

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 16.2.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*.
- Смоделируйте повреждение изоляции электрической сети втыканием перемычки «*П2*» в гнезда модели сети *A7*, как это показано на рисунке 16.2.
- Втыкая проводник «*III*» в гнезда 1 и 2 измерьте амперметром блока мультиметров *P1* токи утечки через изоляцию сети и по их величинам судите о состоянии изоляции.
- По завершении эксперимента отключите автоматические

выключатели однофазного источника питания *G1* и *A11*, а также - выключатель «ПИТАНИЕ» модели питающей электрической сети *A1*.

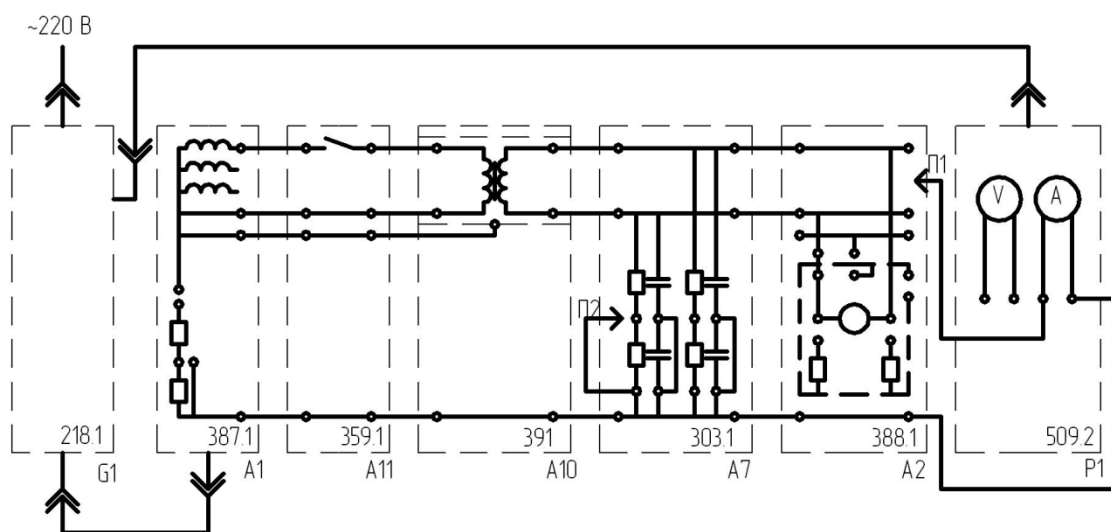


Рисунок 16.2 – Схема для контроля изоляции электрической сети

6.3 Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса 01

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 16.3.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*.
- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием конца проводника «П» в гнездо электроприемника *A2*, как это

показано на рисунке 16.3.

- Измерьте амперметром блока мультиметров *P1* ток через тело человека и по его величинам судите о работе защиты. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 16.1.

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

Таблица 16.1 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Рука-рука 1 кОм	Рука-нога 2 кОм	Рука-нога 11 кОм	Рука-нога 101 кОм

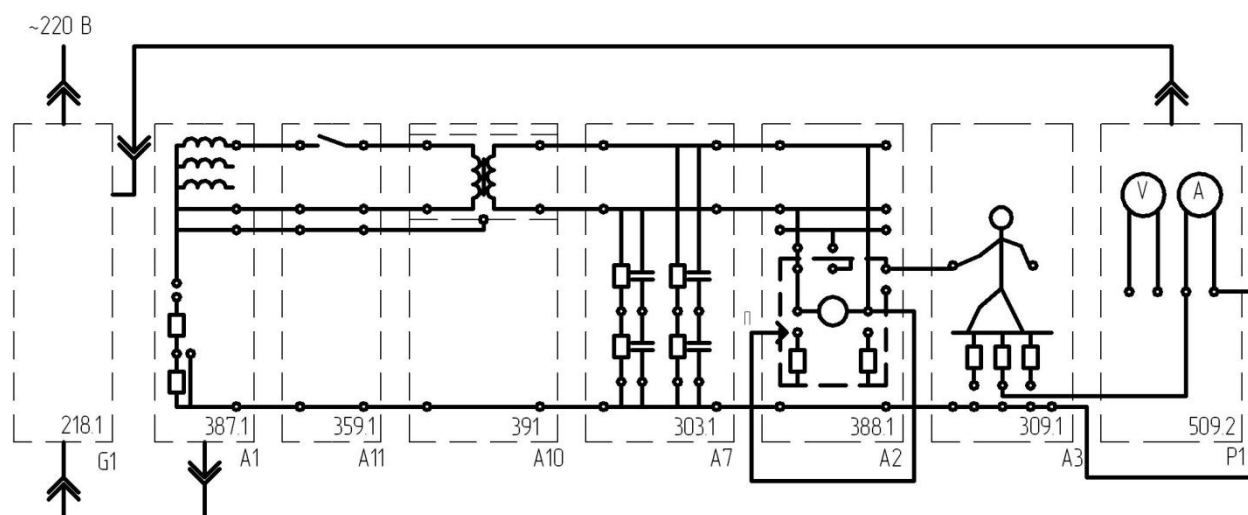


Рисунок 16.3 – Схема для выявления действия защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса 01 (снижении сопротивления изоляции фазы до 1 Ом)

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Нецелесообразность применения устройств защитного отключения.
3. Контроль и изоляция электрической сети
4. Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса 01.
5. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета в форме устного опроса.

1. Дать анализ электробезопасности сетей типа *IT*.
2. Однофазное прикосновение к неисправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа *IT* при аварийном режиме работы.
3. Однофазное прикосновение к исправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа *IT* при аварийном режиме работы.
4. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью типа *IT* при нормальном режиме работы.

Лабораторная работа № 17

Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TI

Цель и содержание работы

Целью данной работы является защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления *TI*

Теоретическое обоснование

Методические указания и теоретические сведения смотри лабораторную работу № 16

Тип заземления системы – понятие, определяющее взаимоотношение заземления разных элементов электрической системы, состоящей из источника питания (обычно трансформаторной подстанции), линии электропередачи и электроустановок и здания.

Тип системы заземления в сетях низкого напряжения характеризует способ заземления вторичной обмотки трансформатора (обычно нейтрали) и открытых проводящих частей электроустановок, питающихся от этого трансформатора. Идентификация типа системы заземления осуществляется посредством двух букв:

а) первая буква определяет характер связи нейтрали трансформатора с землей:

T – нейтраль заземлена;

I – нейтраль изолирована от земли

б) вторая буква определяет характер связи открытых проводящих частей с землей:

T – открытые проводящие части непосредственно присоединены к земле;

N – открытые проводящие части присоединены к заземленной нейтрали трансформатора

Последующие буквы, если таковые есть, показывают организацию нейтрального и защитного проводника:

S – защитный проводник (*PE*) отделен от нейтрального (*N*).

C – функции защитного и нейтрального проводника объединены в одном проводнике (*PEN*)

C - S – в головной части системы (от источника питания) функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводника выполняет *PEN* проводник, а в части электроустановки здания делается разделение *PEN* проводника на защитный проводник *PE* и рабочий проводник *N*.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде Инженерно-производственного центра «Учебная техника» и данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Однофазный источник питания	218.1	-220 В /16 А
<i>A1</i>	Модель питающей электрической сети	387.1	-220 В /50ВА
<i>A2</i>	Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.1	-220 В
<i>A3</i>	Модель человека	309.1	- 220 В /1 кОм
<i>A4</i>	Модель электроприемника с рабочей изоляцией	388.2	-220 В
<i>A5</i>	Устройство защитного отключения	321.1	-220 В /16 А/ 10мА
<i>A8</i>	Модель заземлителя	390	-220 В / 2, 10, 100, 10000 Ом
<i>A11</i>	Автоматический однополюсный выключатель	359.1	-220 В /0,5 А

Методика и порядок выполнения работы

7.1 Работа защиты при прямом прикосновении человека к частям находящимся под напряжением

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 17.1.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- 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 рисунке 17.1. При этом должно сработать устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 17.1.
- По завершении эксперимента отключите автоматические выключатели однофазного источника питания *G1* и *A11*, а также - выключатель «ПИТАНИЕ» модели питающей электрической сети *A1*.

Таблица 17.1 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Рука-рука 1 кОм	Рука-нога 2 кОм	Рука-нога 11 кОм	Рука-нога 101 кОм

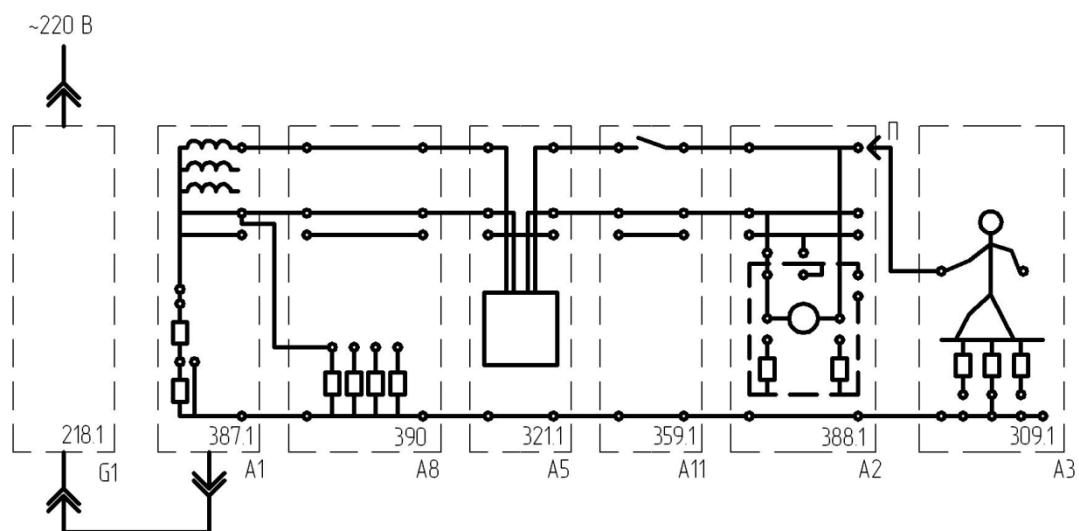


Рисунок 17.1 – Схема для выявления действия защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением

7.2 Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса 0

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 17.2 а.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите автоматический выключатель *A11*. При этом должна загореться индикаторная лампа модели электроприемника *A2*.
- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием перемычки «III» в гнезда электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 17.2 а. При этом должно сработать устройство защитного

отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 17.1.

- Отключите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 17.2 б.

- Включите выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- Смоделируйте повреждение основной изоляции электроприемника втыканием конца проводника «*П*», в гнездо электроприемника *A2*, как это показано на рисунке 17.2 б. При этом должен отключиться автоматический выключатель *A11* и сработать устройство защитного отключения *A5* подтверждая, тем самым, действие защиты. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 17.1.

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

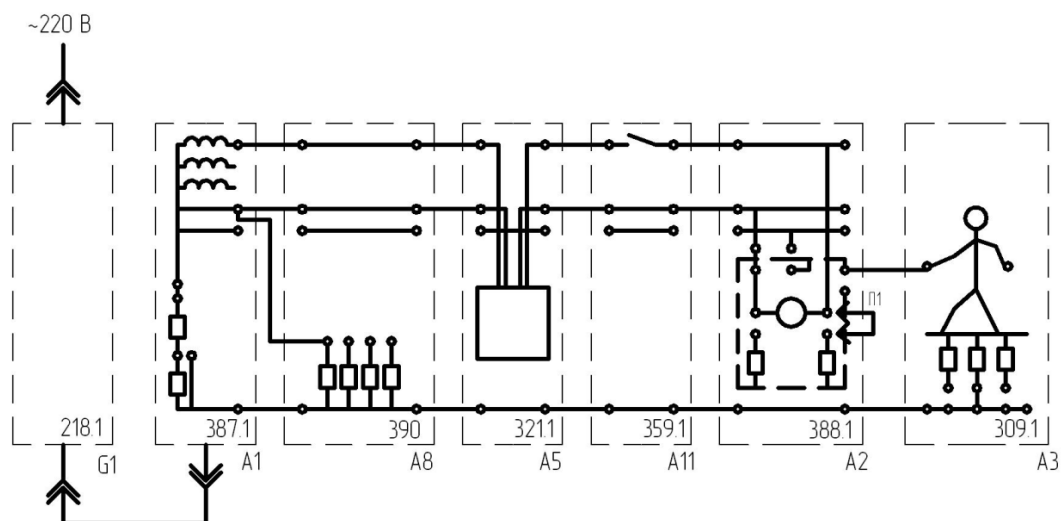


Рисунок 17.2 а – Схема для выявления действия защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса 0
(снижении сопротивления изоляции фазы до 15 кОм
или – рабочего нулевого провода до 1 Ом)

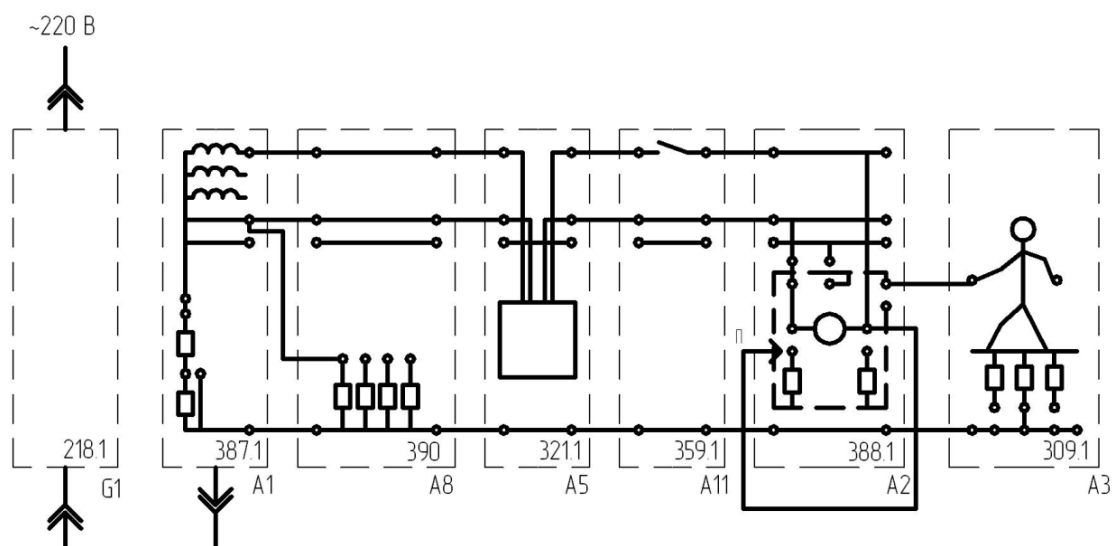


Рисунок 17.2 б – Схема для выявления действия защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса 0 (снижении сопротивления изоляции фазы до 1 Ом)

7.3 Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса II

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рисунке 17.3.
- Отключите (если включен) выключатель «ПИТАНИЕ» модели *A1* питающей электрической сети.
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения в однофазном источнике питания *G1*.
- Включите устройство защитного отключения *A5*.
- 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 рисунке 17.3. При этом

должно сработать устройство защитного отключения *A5*, подтверждая, тем самым, действие защиты. Сопротивление тела человека и путь прохождения тока выбирается по таблице 17.1.

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

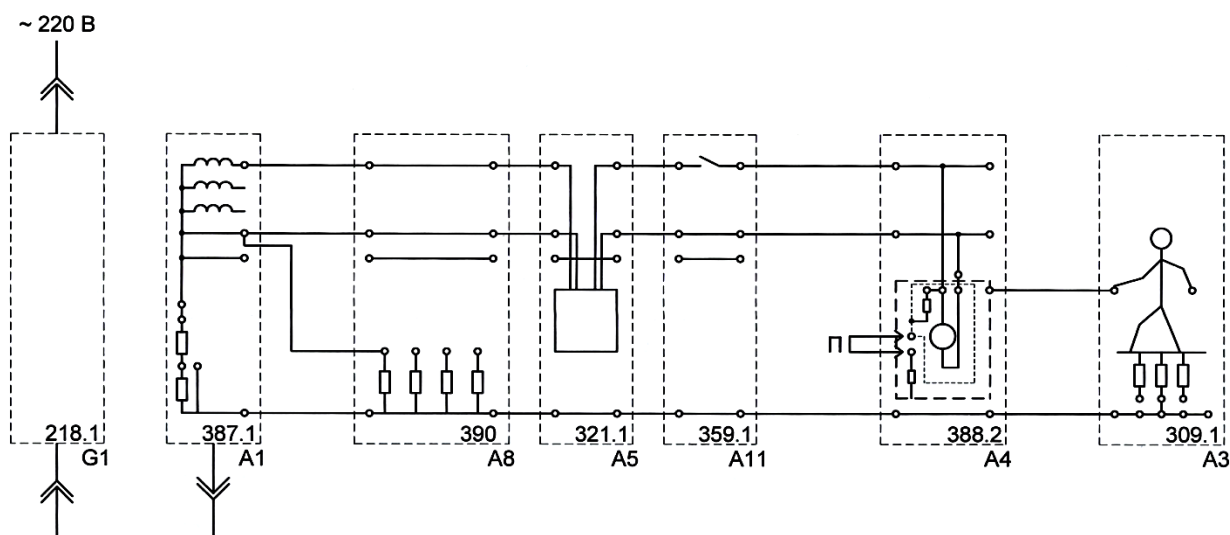


Рисунок 17.3 – Схема для выявления действия защиты при повреждении рабочей изоляции электроприемника класса II

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Работа защиты при прямом прикосновении человека к частям, находящимся под напряжением.
3. Работа защиты при повреждении основной изоляции электроприемника класса 0.
4. Нецелесообразность применения устройств защитного отключения.

5. Контроль и изоляция электрической сети.
6. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета в форме устного опроса.

1. Дать анализ электробезопасности сетей типа *IT*.
2. Однофазное прикосновение к неисправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа *IT* при аварийном режиме работы.
3. Однофазное прикосновение к исправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа *IT* при аварийном режиме работы.
4. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью типа *IT* при нормальном режиме работы.

Лабораторная работа № 18

Определение влияния режима электрической сети и ее нейтрали на условия электробезопасности

Цель и содержание работы

Целью данной работы является оценка опасности поражения электрическим током в зависимости от:

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

Теоретическое обоснование

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 глухо заземлённой 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 $I_{\text{ч}}$, определяется линейным напряжением $U_{\text{л}}$ и сопротивлением его тела $R_{\text{ч}}$:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{л}} / R_{\text{ч}} \quad \text{и} \quad U_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}}$$

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

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + Z/3),$$

где Z – комплекс полного сопротивления одной фазы относительно земли, Ом; r – сопротивление изоляции провода относительно земли, Ом; C – емкость изоляции провода относительно земли, Ф.

Ток в действительной форме составит:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r \cdot (r + 6 \cdot R_{\text{ч}})}{9 \cdot R_{\text{ч}}^2 \cdot (r^2 \cdot \omega^2 \cdot C^2)}}}.$$

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

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + r/3} = \frac{3 \cdot U_{\text{ф}}}{3 \cdot R_{\text{ч}} + r},$$

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

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{\sqrt{R^2 + (x_c/3)^2}}.$$

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

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

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

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + r_0}.$$

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

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

Выбор схемы сети, а также режима нейтрали производится по технологическим требованиям, а также по условиям безопасности.

При напряжении до 1000 В широкое распространение получили обе разрешенные схемы трехфазных сетей: трехпроводная с изолированной нейтралью и четырехпроводная с заземленной нейтралью.

По технологическим требованиям предпочтение часто отдается четырехпроводной сети, поскольку она позволяет использовать два рабочих напряжения – линейное и фазное. Так например от четырехпроводной сети 380 В можно питать как силовую нагрузку – трехфазную или однофазную, включая ее между фазными проводами на линейное напряжение 380 В, так и осветительную, включая ее между фазным и нулевым проводами, т.е. на фазное напряжение 220 В. при этом достигается удешевление электроустановки в целом за счет применения меньшего числа трансформаторов, меньшего сечения проводов и т.п.

По условиям безопасности выбор одной из двух схем сети производится с учетом выводов, полученных при рассмотрении этих сетей: по условиям прикосновения к фазному проводу в период нормального режима работы сети более безопасной является как правило, сеть с изолированной нейтралью, а в аварийный период – сеть с заземленной нейтралью.

Поэтому сети с изолированной нейтралью целесообразно применять в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень изоляции проводов и когда емкость сети относительно земли незначительна. Такими являются непротяженные малоразветвленные сети, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным контролем квалифицированного персонала. Примером могут служить сети небольших предприятий, электротехнических лабораторий и т.п.

Сети с заземленной нейтралью надлежит применять там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов (из-за высокой влажности, агрессивной среды и проч.), когда нельзя быстро отыскать или устранить повреждения изоляции, либо когда емкостные токи сети вследствие значительной ее разветвленности достигают больших значений, опасных для человека. Примером таких сетей могут служить сети крупных промышленных предприятий, городские и сельские сети и т.п.

Аппаратуры и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде инженерно–производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Трехфазный источник питания	201.2	400 В /16 А
<i>A1</i>	Блок линейных дросселей	337	6х1,0 Гн; 0,5 А
<i>A2</i>	Трехфазный трансформатор	302	205 В·А 380/380 В Y-0/Y-0/YY
<i>A3</i>	Модель участка электрической сети	303	380 В / ~3 х 0.5 А
<i>A4</i>	Модель человека	309	380 В / ~ 3 х 0.5 А
<i>A5</i>	Модель замыкания на землю	310	380 В / ~ 3 х 0.5 А
<i>P1</i>	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000В~; 0...10А=; 0...20МОм

Методика и порядок выполнения работы

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

- Соедините гнезда защитного заземления  устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника *G1*.

- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений рисунок 18.1.

- Установите у модели *A5* сопротивление замыкания на землю $R_{зам} = \infty$
- Включите источник *G1* и питание блока мультиметров *PI*.
- Варьируя сопротивление изоляции $R_{из} = R_A = R_B = R_C$ и емкости $C = C_A = C_B = C_C$ фаз модели *A3*, а также сопротивлений $R_{обуви}$ и $R_{пола}$ модели *A4*, снимите в электрической сети с изолированной нейтралью с помощью ампер-метра блока *PI* следующие зависимости тока через тело человека: $I_h = f(R_{из})$, $I_h = f(C)$, $I_h = f(R_{обуви})$, $I_h = f(R_{пола})$. Значения $R_{из}$, C , $R_{обуви}$, $R_{пола}$ принимаются согласно варианту по таблице 18.1.

- Смоделируйте электрическую сеть с глухозаземленной нейтралью. Для этого соедините перемычкой гнездо нейтральной точки трансформатора и гнездо сопротивления заземлителя R_0 в блоке трехфазного трансформатора *A2*.

- Снимите аналогичные ранее снятым для электрической сети с изолированной нейтралью зависимости тока через тело человека для электрической сети с глухозаземленной нейтралью.

- Сопоставьте снятые зависимости и сделайте вывод о влиянии режима нейтрали электрической сети на условия электробезопасности.

- Варьируя сопротивление изоляции $R_{из} = R_A = R_B = R_C$ емкости $C = C_A = C_B = C_C$ фаз модели *A3*, сопротивление замыкания на землю $R_{зам}$ модели *A5*, а также сопротивлений $R_{обуви}$ и $R_{пола}$ модели *A4*, снимите в электрической сети с глухо заземлённой нейтралью с помощью амперметра блока *PI* зависимости тока через тело человека: $I_h = f(R_{из})$, $I_h = f(C)$, $I_h = f(R_{зам})$, а также с помощью вольтметра блока *PI* – зависимость напряжения прикосновения $U_{пр} = f(R_{зам})$. Значения $R_{из}$, C , $R_{обуви}$, $R_{пола}$ и $R_{зам}$ принимаются согласно варианту по таблице 18.1.

- Проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы о влиянии параметров в электрической сети с глухо заземлённой нейтралью на условия электробезопасности.

- Смоделируйте электрическую сеть с изолированной нейтралью. Для этого уберите перемычку, соединяющую гнездо нейтральной точки трансформатора и гнездо сопротивления заземлителя R_o в блоке трехфазного трансформатора $A2$. Варьируя параметры моделей $A3...A5$, снимите с помощью амперметра и вольтметров блока PI : зависимости тока через тело человека: $I_h = f(R_{из})$, $I_h = f(C)$, $I_h = f(R_{зам})$, зависимости напряжения прикосновения $U_{пр} = f(R_{зам})$, $U_{пр} = f(R_{пола})$ и напряжения фаз электрической сети относительно земли $U_A = f(R_{зам})$, $U_B = f(R_{зам})$, $U_C = f(R_{зам})$. Проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы о влиянии параметров в электрической сети с изолированной нейтралью на условия электробезопасности.

- По завершении эксперимента отключите источник $G1$ и питание блока мультиметров PI .

Таблица 18.1 – Варианты заданий

№ варианта	$R_{из}=R_A=R_B=R_C$, кОм	$C=C_A=C_B=C_C$, мкФ	$R_{пола}$, кОм	$R_{обув}$, кОм	$R_{зам}$, Ом
1	1	0	1	1	2
2	2	0,1	100	10	5
3	5	0,2	900	300	10
4	10	0,3	2500	3000	50
5	100	0,4	900	300	100
6	500	0,5	100	10	200
7	1	0,6	1	1	500
8	2	0,5	2500	300	1000
9	5	0,4	900	10	500
10	10	0,3	100	1	200
11	100	0,2	1	10	100
12	500	0,1	2500	300	50

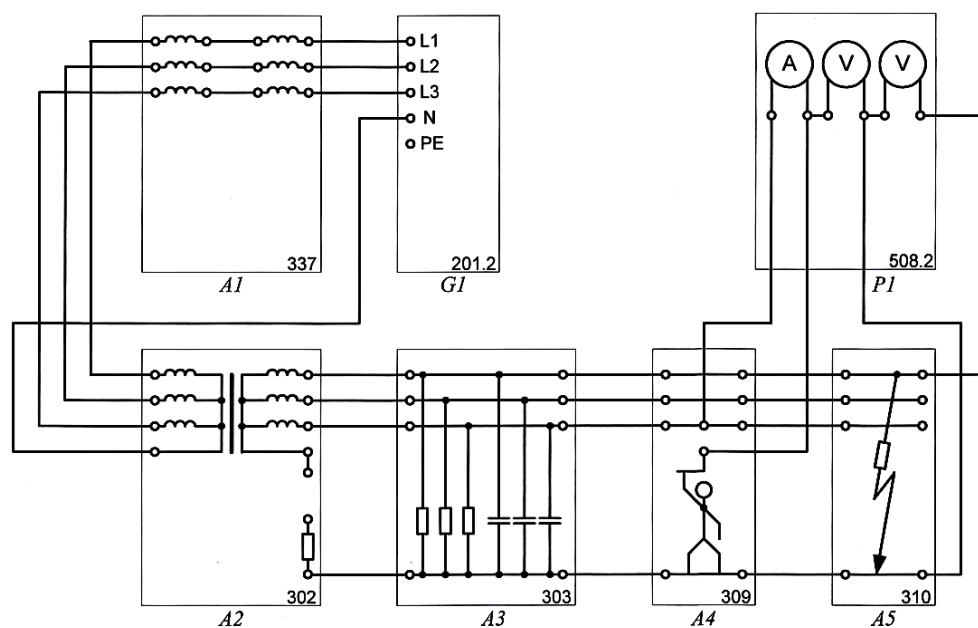


Рисунок 18.1 – Схема для определения влияния режима электрической сети и ее нейтрали на условия электробезопасности

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты измерений для электрической сети с изолированной нейтралью и с глухо заземлённой нейтралью, зависимости тока через тело человека, зависимости напряжения прикосновения и напряжения фаз электрической сети относительно земли.
4. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного

отчета и форме устного опроса.

1. Режимы работы нейтралей.
2. Прикосновения человека к сети с изолированной нейтралью.
3. Прикосновения человека к сети с глухо заземлённой нейтралью.
4. Дать анализ напряжению прикосновения при прямом и косвенном прикосновениях.
5. Какой режим нейтрали является наиболее опасным?
6. Как влияет величина сопротивления изоляции и емкости фаз на зависимость тока через тело человека при различных режимах нейтрали?
7. Изменение зависимости тока через тело человека и зависимости напряжения прикосновения при различных режимах нейтрали.

Лабораторная работа № 19

Определение зависимостей, характеризующих явления при стекании тока через защитный заземлитель

Цель и содержание работы

Целью данной работы является изучение зависимостей, характеризующих явления при стекании тока в землю через защитный заземлитель.

Теоретическое обоснование

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 нетокведущих 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 (1×10^3 – 1×10^4 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:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{н}} + Z_{\text{и}}/3),$$

где $\bar{I}_{\text{ч}}$, $\bar{U}_{\text{ф}}$, $\bar{Z}_{\text{и}}$ – комплексы тока, А, фазного напряжения, В и сопротивления изоляции одной фазы, Ом; $R_{\text{ч}}$ – сопротивление тела человека, Ом; $R_{\text{об}}$ – сопротивление обуви человека, Ом; $R_{\text{н}}$ – 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 (рисунок 19.1) 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:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{н}} + R_{\text{з}})$$

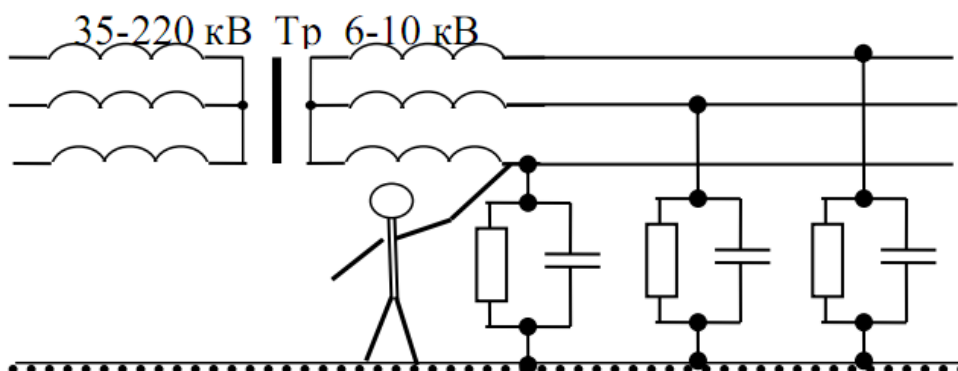


Рисунок 19.1 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с изолированной нейтралью

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 $R_n = 0$. 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 $R_q = 1000$ Ом (вполне вероятная величина) и $R_3 = 4$ Ом

$$I_q = 220 / (1000+4) \approx 0,22 \text{ А.}$$

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.

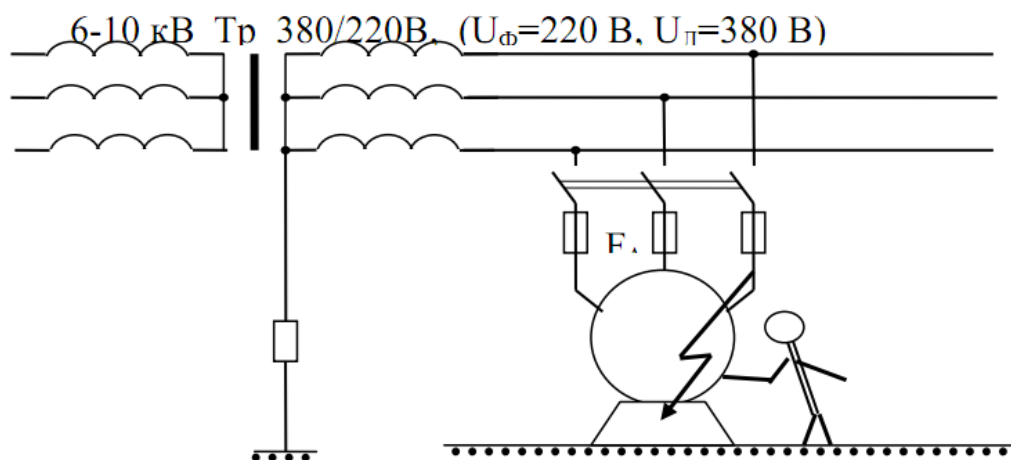


Рисунок 19.2 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной электрической сети с глухо заземленной нейтралью

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.

При замыкании фазы на корпус и стекании тока I_3 через заземлитель $\varphi_3(X)$ 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.

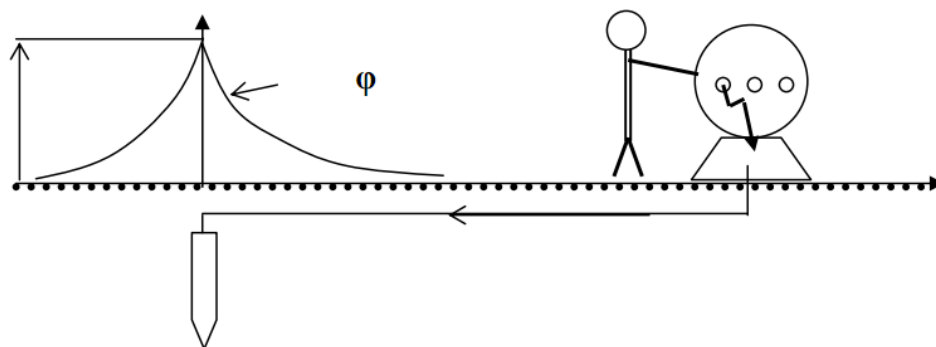


Рисунок 19.3 – Выносной (сосредоточенный) заземлитель

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

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 рисунке 19.3. 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.

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

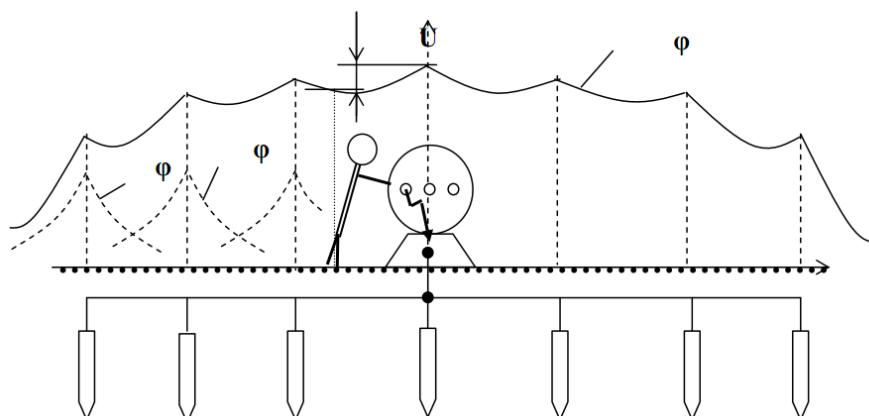


Рисунок 19.4 – Случай контурного (распределенного) заземлителя

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:

- 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 (таблица 19.1).

Таблица 19.1 – Максимально допустимые значения сопротивления 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

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде инженерно–производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Трехфазный источник питания	201.2	400 В /16 А
<i>A1</i>	Блок линейных дросселей	337	6х1,0 Гн; 0,5 А
<i>A2</i>	Трехфазный трансформатор	302	250 В·А 380/380 В Y-0/Y-0
<i>A6</i>	Модель заземлителя полусферическим электродом Модель заземлителя с в вертикальным трубчатым электродом Модель заземлителя с в протяженным трубчатым электродом на поверхности	325 326 327	~ 380 В / 3 х 0.5 А
<i>P1</i>	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра, О...1000В~; О...10А=; 0...20МОм

Методика и порядок выполнения работы

- Используйте первоначально в эксперименте, например, модель *А6* заземлителя с полусферическим электродом (код 325).
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления  устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника *G1*.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений по рисунку 19.1
- Включите источник *G1* и питание блока мультиметров *P1*.
- При заданных сопротивлениях грунта ρ модели заземлителя *А6*, снимите с помощью вольтметра блока *P1* зависимости от расстояния x : потенциала основания электрооборудования $\varphi_{осн} = f(x)$ (вольтметр включать между гнездом « $\perp$ » и гнездами, соответствующими расстоянию x), напряжения прикосновения $U_{np} = f(x)$ (вольтметр включать между гнездом «0» и гнездами, соответствующими расстоянию x), шагового напряжения $U_{ш} = f(x)$ (вольтметр включать между соседними гнездами, соответствующими расстоянию x). Значения грунта принимаются согласно варианту по таблице 19.2.
- Ток стекания в землю контролируйте с помощью амперметра блока *P1*. Он не должен превышать $0,5\text{ А}$.
- Отключите источник *G1* и замените в электрической схеме модель *А6* заземлителя с полусферическим электродом (код 325) на модель *А6* заземлителя с вертикальным трубчатым электродом (код 326).
- Включите источник *G1* и вновь снимите вышеупомянутые зависимости.
- Еще раз отключите источник *G1* и замените в электрической схеме модель *А6* заземлителя с вертикальным трубчатым электродом (код 326) на

модель *A6* заземлителя с протяженным трубчатым электродом на поверхности (код 327).

- Вновь включите источник *G1* и в третий раз снимите вышеупомянутые зависимости.
- По завершении эксперимента отключите источник *G1* и питание блока мультиметров *P1*.
- Используйте полученные зависимости для формулирования выводов о влиянии на электробезопасность типа заземлителя, удельного сопротивления грунта, в котором он заложен, и расстояния от заземлителя до места установки защищаемого электрооборудования.

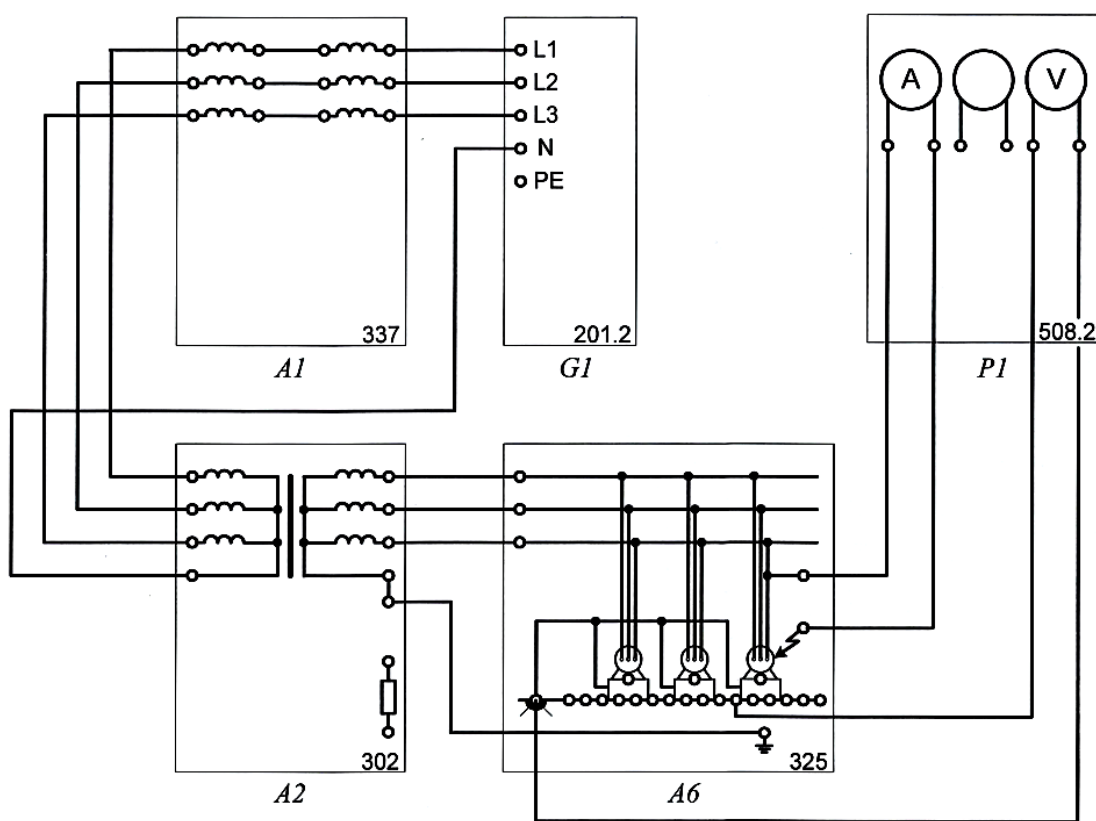


Рисунок 19.1 – Схема для определения зависимостей, характеризующих явление при стекании тока в землю через защитный заземлитель

Таблица 19.2 – Варианты заданий

№ варианта	ρ_1 , Ом м	ρ_2 , Ом м
1	20	700
2	40	300
3	100	100
4	300	40
5	700	20
6	20	300
7	40	700
8	100	20
9	300	300
10	700	100
11	20	40
12	40	100

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты измерений и зависимости потенциала основания электрооборудования, напряжения прикосновения и шагового напряжения от расстояния x .
4. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета и форме устного опроса.

1. Режимы работы нейтралей.
2. Прикосновения человека к сети с изолированной нейтралью.

3. Прикосновения человека к сети с глухо заземлённой нейтралью.
4. Дать анализ напряжению прикосновения при прямом и косвенном прикосновениях.
5. Какой режим нейтрали является наиболее опасным?
6. Как влияет величина сопротивления изоляции и емкости фаз на зависимость тока через тело человека при различных режимах нейтрали?
7. Изменение зависимости тока через тело человека и зависимости напряжения прикосновения при различных режимах нейтрали.

Лабораторная работа № 20

Определение зависимостей, характеризующих электрическое сопротивление тела человека

Цель и содержание работы

Целью данной работы является:

- изучение основных факторов, влияющие на тяжесть поражения человека электрическим током;
- исследование изменение сопротивления тела человека в зависимости от площади контакта при различной частоте электрического тока.

Теоретическое обоснование

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

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

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

Биологическое действие выражается в возбуждении живых тканей организма (что сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц), а также в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, протекающих в нормально действующем организме и теснейшим образом связанных с его жизненными функциями. В результате могут возникнуть различные нарушения в организме, в том числе нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения. Раздражающее действие тока на ткани организма может быть прямым, когда

ток проходит непосредственно по этим тканям, и рефлекторным, т.е. через центральную нервную систему, когда путь тока лежит вне этих тканей.

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

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

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

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

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

провод от себя и оказывается, как бы прикованным к токоведущей части. Такой ток называется пороговым не отпускающим.

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 не отпускающий ток – до 50–70 мА, а фибрилляционный при длительности воздействия более 0,5 секунд – до 300 мА.

Индивидуальные свойства человека – состояние здоровья, подготовленность к работе в электрической установке и другие факторы – также имеют значение для исхода поражения. Поэтому обслуживание электроустановок поручается лицам, прошедшим медицинский осмотр

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде инженерно–производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
-	Устройство для исследования сопротивления тела человека	341	$0 \dots 7 \text{ В} \sim 0.03 \text{ А}$

Методика и порядок выполнения работы

- Подключите с помощью сетевого шнура устройство для исследования сопротивления тела человека (код 341) к трехпроводной электрической сети 220 В и включите на его лицевой панели выключатель «СЕТЬ».

- Оперируя кнопками на поле «ГЕНЕРАТОР СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ» по индикатору выставьте требуемые напряжение U и его частоту f , согласно варианту по таблице 20.1.

- Приложите ладони рук порознь к двум электродам с площадью контактной поверхности $S=1250 \text{ мм}^2$ и с верхнего индикатора считайте величину тока I_h , протекающего через тело человека.

- Приложите ладони рук порознь к двум электродам с площадью контактной поверхности $S=2500 \text{ мм}^2$ и с верхнего индикатора считайте величину тока I_h , протекающего через тело человека.

- Рассчитайте электрическое сопротивление тела человека $Z_h=U/I_h$ в обоих случаях и сделайте вывод о влиянии на него площади контактной поверхности.

- Варьируя частоту f напряжения генератора от 2 кГц до 200 кГц, снимите зависимость от нее тока, протекающего через тело человека $I_h(f)$, согласно варианту по таблице 20.1.

- Рассчитайте зависимость электрического сопротивления тела человека $Z_h(f) = U/I_h(f)$.
- По завершении эксперимента отключите питание устройства для исследования сопротивления тела человека (код 341).

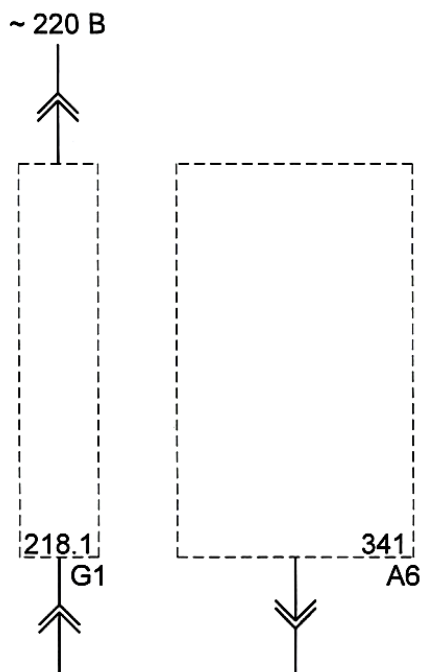


Рисунок 20.1 – Схема для определения зависимостей, характеризующих электрического сопротивление тела человека

Таблица 20.1 - Варианты заданий

№ варианта	Напряжение, В	Частота, кГц
1	0,5	2
2	1,0	5
3	1,5	10
4	2,0	15
5	2,5	20
6	3,0	40
7	3,5	60
8	4,0	80
9	4,5	100
10	5,0	120
11	5,5	140
12	6,0	160
13	6,5	180
14	7,0	200

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты измерений и зависимости тока через тело человека и электрического сопротивления тела человека.
4. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета и форме устного опроса.

1. Режимы работы нейтралей.
2. Прикосновения человека к сети с изолированной нейтралью.
3. Прикосновения человека к сети с глухо заземлённой нейтралью.
4. Дать анализ напряжению прикосновения при прямом и косвенном прикосновениях.
5. Какой режим нейтрали является наиболее опасным?
6. Как влияет величина сопротивления изоляции и емкости фаз на зависимость тока через тело человека при различных режимах нейтрали?
7. Изменение зависимости тока через тело человека и зависимости напряжения прикосновения при различных режимах нейтрали.

Лабораторная работа № 21

Контроль изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью

Цель и содержание работы

Целью данной работы является изучение контроля неисправности изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью.

Теоретическое обоснование

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

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.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде инженерно–производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

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

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления  устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника *G1*.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений по рисунку 21.1
- Установите емкости фаз модели *A3* $C = C_A = C_B = 0$
- Установите желаемые сопротивления R_A , R_B , R_C изоляции фаз модели *A3* и сопротивления R изоляции модели *A7*. Значения R_A , R_B , R_C принимаются согласно варианту по таблице 21.1.
- Включите источник *G1* и питание блока мультиметров *P1*.
- С помощью вольтметров блока мультиметров *P1* измерьте напряжения фаз электрической сети. По ним судите о соотношении сопротивлений изоляции этих фаз.
- Величину, равную параллельно соединенным сопротивлениям изоляции всех трех фаз, считывайте с индикатора устройства контроля изоляции.

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

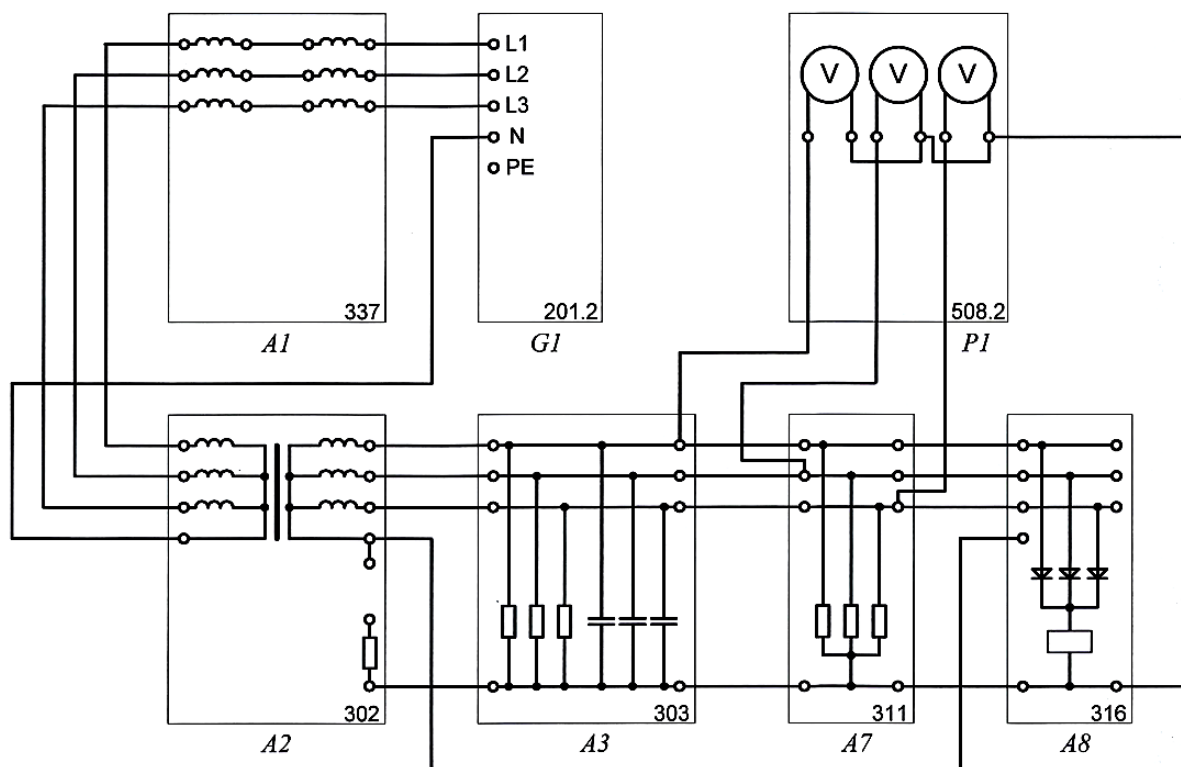


Рисунок 21.1 – Схема для контроля изоляции в электрической сети с изолированной нейтралью

Таблица 21.1 - Варианты заданий

№ варианта	R_A , кОм	R_B , кОм	R_C , кОм
1	2	5	2
2	2	10	5
3	5	100	10
4	5	500	100
5	500	2	500
6	500	5	2
7	10	100	5
8	10	500	10
9	100	5	100
10	100	10	500
11	5	100	2
12	10	2	5

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты измерений напряжения фаз электрической сети и сопротивления изоляции всех фаз.
4. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета и форме устного опроса.

1. Режимы работы нейтралей.
2. Прикосновения человека к сети с изолированной нейтралью.
3. Прикосновения человека к сети с глухо заземлённой нейтралью.
4. Дать анализ напряжению прикосновения при прямом и косвенном прикосновениях.
5. Какой режим нейтрали является наиболее опасным?
6. Как влияет величина сопротивления изоляции и емкости фаз на зависимость тока через тело человека при различных режимах нейтрали?
7. Изменение зависимости тока через тело человека и зависимости напряжения прикосновения при различных режимах нейтрали.

Лабораторная работа № 22

Измерение сопротивления заземления

Цель и содержание работы

Произвести измерение тока, стекающего в землю через заземлитель и напряжения между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя.

Сделать вывод об эффективности защитного заземления.

Теоретическое обоснование

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, и специальных защитных средств – переносных приборов и приспособлений.

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетокведущих 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, определяется соотношением:

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / (R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{н}} + Z_{\text{и}}/3),$$

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

$R_{\text{ч}}$ – сопротивление тела человека, Ом;

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

$R_{\text{н}}$ – сопротивление пола (основания), Ом.

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

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 $R_{\text{н}} = 0$. 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

$$I_{\text{ч}} = 220 / (1000 + 4) \approx 0,22 \text{ А.}$$

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.

Аппаратура и материалы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде инженерно-производственного центра «Учебная техника» и согласно данных методических указаний.

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~16 А
<i>A1</i>	Блок линейных дросселей	337	6х1,0 Гн; 0,5 А
<i>A2</i>	Трехфазный трансформатор	302	250 В·А 380/380 В Y-0/Y-0 Y-Y
<i>A9</i>	Модель измерения заземления	312	~ 220 В 0.5 А
<i>P1</i>	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра О...1000 В~;= О...10 А ~; =; 0...20 МОм

Указания по проведению эксперимента

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления  устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника *G1*.
- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений по рисунку 22.1

- Переключателем установите у модели *A9* желаемое удельное сопротивление грунта ρ согласно варианту по таблице 22.1.
- Включите источник *G1* и питание блока мультиметров *P1*.
- С помощью амперметра и вольтметра блока мультиметров *P1* измерьте ток, стекающий в землю через заземлитель и напряжение между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя.
- Используйте измеренные значения тока и напряжения для определения правильного расположения потенциального электрода относительно заземлителя и последующего расчета сопротивления заземлителя.
- По завершении эксперимента отключите источник *G1* и питание блока мультиметров *P1*.

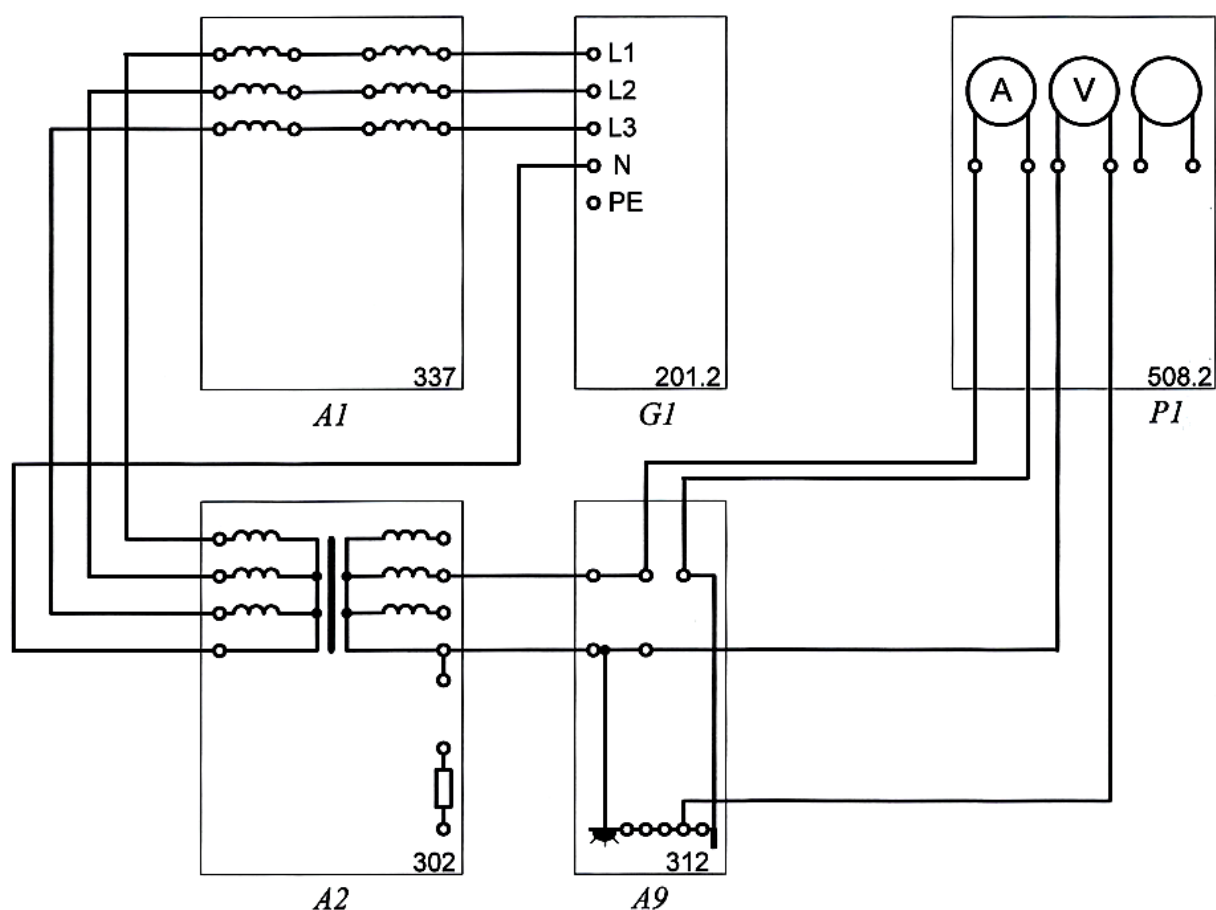


Рисунок 22.1 – Схема для измерения сопротивления заземления

Таблица 22.1 – Варианты заданий

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
$\rho = 40 \text{ Ом м}$	$\rho = 100 \text{ Ом м}$	$\rho = 300 \text{ Ом м}$	$\rho = 700 \text{ Ом м}$

Содержание отчёта и его форма

Отчет выполняется в письменном виде.

Отчет должен иметь титульный лист с указанием темы лабораторной работы, ФИО студента, группы и даты выполнения работы.

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Результаты показаний тока, стекающего в землю через заземлитель, и напряжения между ним и потенциальным электродом на различном удалении от заземлителя, а также расчетное сопротивление заземлителя.
4. Письменные выводы и ответы на поставленные в работе вопросы.

Контрольные вопросы и защита работы

Защита лабораторной работы проводится при наличии письменного отчета и форме устного опроса.

1. Режимы работы нейтралей.
2. Прикосновения человека к сети с изолированной нейтралью.
3. Прикосновения человека к сети с глухозаземленной нейтралью.
4. Дать анализ напряжению прикосновения при прямом и косвенном прикосновениях.
5. Какой режим нейтрали является наиболее опасным.
6. Как влияет величина сопротивления изоляции и емкости фаз на зависимость тока через тело человека при различных режимах нейтрали.
7. Изменение зависимости тока через тело человека и зависимости напряжения прикосновения при различных режимах нейтрали.

Литература

1. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов. / Под ред. проф. Э.А. Арустамова – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2013 – 448 с.
2. Безопасность жизнедеятельности. Под ред. Мастрюков Б. М., изд-во Академия, 2012, 304 с.
3. Сапронов Ю.Г., Сыса А.Б. Шахбазян В.В. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Академия, 2012, 320 с.
4. Бондин В.И., Семехин Ю.Г. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Инфра-М, АкадемЦентр, 2011, 352 с.
5. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / Мар.гос.ун-т; И.Г. Воробьева. – Йошкар-Ола, 2011. – 276 с.
6. Графкина М.В., Нюнин Б. Н., Михайлов В.А. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во: Форум, Инфра-М, 2013, 416 с.
7. Казаков Н.П. Якубовская Н.А. Безопасность жизнедеятельности. Обеспечение безопасности в туризме. Изд-во Академия., 2011, 240 с.
8. Каракеян В.И., Никулина И.М. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Юрайт, 2012, 464 с.
9. Косолапова Н.В., Прокопенко Н.А., Побежимова Е.Л. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Академия, 2012, 288 с.
10. Сапронов Ю.Г., Сыса А.Б. Шахбазян В.В. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Академия, 2012, 320 с.
18. Сапронов Ю.Г. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Академия, 2012, 336 с.
19. Сапронов Ю.Г. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Академия, 2012, 336 с.
20. Сенигов П.Н. Основы электробезопасности. Руководство по выполнению базовых экспериментов. ОЭБ.001 РБЭ (912). – Челябинск: ООО «Учебная техника», 2004. – 39 с.

21. Безопасность жизнедеятельности. учебник для студентов высших учебных заведений. / [Л.А. Михайлов, В.М Губанов, В.П. Соломин и др.]; под ред. Л.А. Михайлова. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 272 с.
22. Губанов, В.П. Соломин и др.]; под ред. Л.А. Михайлова. –М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 272 с.
23. Лобачев А.И.Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов. – М.: Юрайт - Издат, 2008. – 360 с.
24. Абрамов В.В. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во СПбГУП, 2010, 456 с.
25. Басаков М.И. Охрана труда (безопасность жизнедеятельности в условиях производства): Учебно-практическое пособие. – Москва: ИКЦ «МарТ»; Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2003. – 400 с.
26. Девисилов В.А. Охрана труда. Изд-во: Форум, 2010, 512 с.
27. Карнаух Н.Н. Охрана труда. Изд-во: Юрайт, 2011, 384 с.
28. <http://www.alleng.ru/d/saf/saf13.htm> .–Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие под ред. Э. А. Арустамова, 2006 .
29. Скляр Н.Е., Рузьяев Е.С. Электробезопасность. Учебное пособие для студентов по курсу “Электробезопасность”. М.: Академия. 2008.– 168с.
30. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Справочно-методическое пособие по изучению и применению «Межотраслевых правил по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок» ПОТ РМ-016-2001 (с изменениями и дополнительными материалами). Девятое издание, испр. и дополн. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТ «ЭлектроСервис», 2009 -224 с.
31. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Опасность поражения человека электрическим током и порядок оказания первой помощи при несчастных случаях на производстве: Практическое руководство. – Десятое издание, испр. и дополн. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭлектроСервис», 2010 -84 с.
32. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Виды защит, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок (в трех частях). Часть 1. Общие

требования. Основная защита. Справочное пособие. – Шестое издание, испр. и дополн. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭлектроСервис», 2010 - 108с.

33. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Виды защит, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок (в трех частях). Часть 2. Защита при косвенном прикосновении. Дополнительная защита. Справочное пособие. – Шестое издание, испр. и дополн. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭлектроСервис», 2010 - 108с.

34. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Виды защит, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок (в трех частях). Часть 3. Защита при нарушении режимов работы ЭУ. Справочное пособие. – Шестое издание, испр. и дополн. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭлектроСервис», 2010 - 108с

35. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Инструктивные материалы по оказанию первой помощи при поражении человека электрическим током и других несчастных случаях на производстве. Практическое руководство. – Шестое издание, испр. и дополн. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭлектроСервис», 2009. - 36с.

36. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: Справочник. – СПб.: Политехника, 2005. – 400с.

Классификация электрических сетей

Системы электрических сетей классифицируются по **ГОСТ (МЭК)**. Для классификации используются две буквы, указывающие характер заземления:

первая буква – указывает характер заземления нейтрали источника;

вторая буква – указывает характер заземления открытых проводящих нетоковедущих частей электроустановок (корпуса).

В обозначении используются начальные буквы французских слов:

T (*terre*) – заземлено;

N (*neutre*) – занулено (присоединено к нейтрали источника питания);

I (*isole*) – изолировано.

Выделяются три системы сетей: *TT*, *IT*, *TN*.

1) *TT* – нейтраль источника и корпуса электроприемников заземлены;

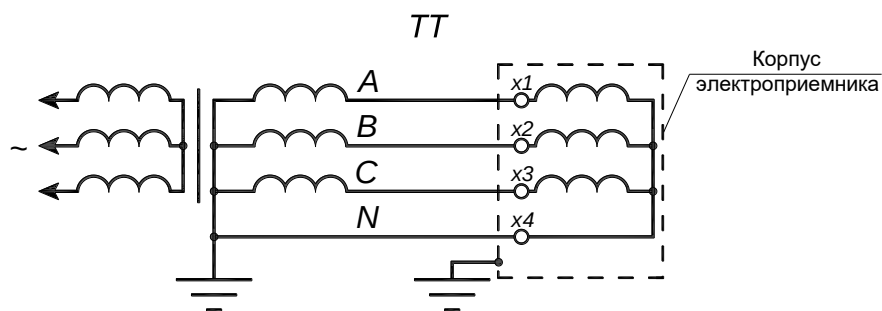


Рисунок А 1

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 110 кВ и выше.

Примечание. В примерах в качестве источников показаны вторичные обмотки трансформаторов. На практике источниками питания могут служить также обмотки генераторов.

2) IT – нейтраль источника изолирована, а корпуса электроприемников заземлены;

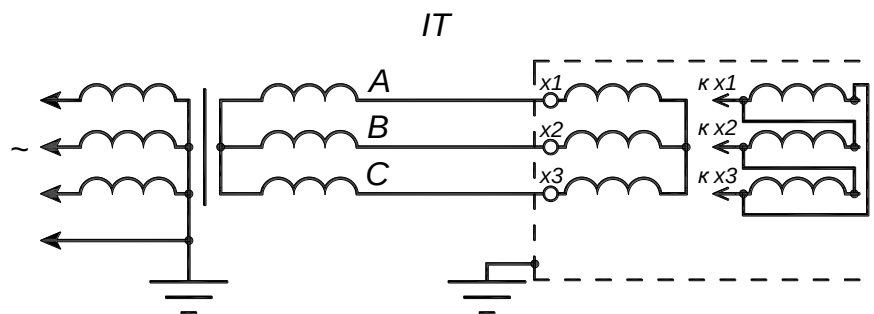


Рисунок А 2

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 6, 10, 35 кВ.

3) TN – нейтраль источника заземлена, а корпуса электроприемников занулены.

Схема TN имеет 3 модификации в зависимости от устройства нулевого рабочего и нулевого защитного проводников.

Схема $TN-C$ (common) – функция нулевого рабочего (N) и нулевого защитного (PE) проводников объединены в одном проводнике, который называется PEN .

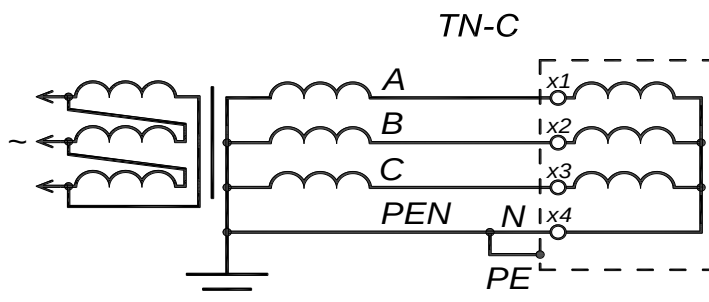


Рисунок А 3

Схема $TN-S$ (select) – функция нулевого рабочего и нулевого защитного проводников обеспечивается отдельными проводниками, соответственно N и PE .

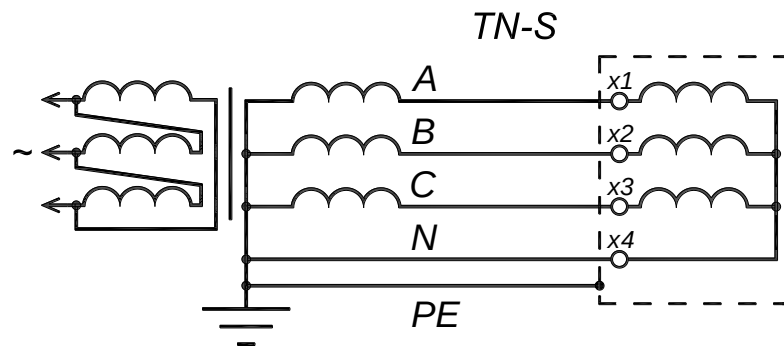


Рисунок А 4

Схема *TN-C-S* – нулевые проводники на головных участках объединены в проводник *PEN*, а далее разделены на проводники *N* и *PE*.

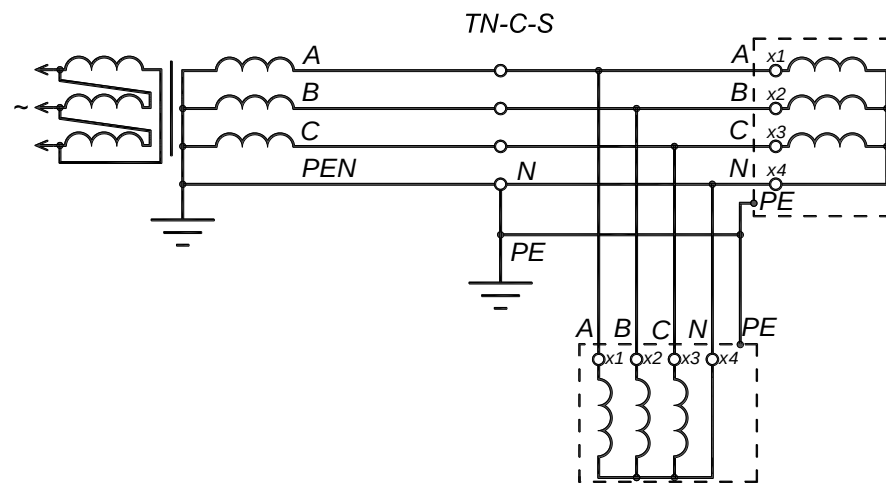


Рисунок А.5

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 0,4 кВ.

В системе TT все открытые проводящие части электроустановки присоединены к заземлению, электрически независимому от заземлителя нейтрали источника питания.

ГОСТ Р 50669-94 предписывает применение системы *ТТ* как основной в случае подключения указанных электроустановок к вводно-распределительным устройствам соседнего (капитального) здания.



В стандарте **ГОСТ Р 50571.3-94 п. 413.1.4** указано, что в системе *TT* устройства защиты от сверхтока (автоматические выключатели, предохранители) могут использоваться для защиты от косвенного прикосновения только в электроустановках, имеющих заземляющие устройства с очень малым сопротивлением. При этом гарантированное отключение питания электроустановки должно производиться при появлении на открытых проводящих частях электроустановки напряжения не более 50 В.

В реальных условиях осуществить автоматическое отключение питания электроустановки системы TT с помощью автоматических выключателей по ряду причин (необходимости обеспечения большой кратности тока короткого замыкания, низкого сопротивления заземляющего устройства и др.) весьма проблематично. Эффективное решение проблемы автоматического отключения питания дает только применение УЗО.

В п. 1.7.59 ПУЭ (7-е изд.) содержится требование обязательного применения УЗО для обеспечения условий электробезопасности в системе TT . При этом уставка (номинальный отключающий дифференциальный ток) должна быть меньше значения тока замыкания на заземленные открытые проводящие части при напряжении на них 50 В относительно зоны нулевого потенциала.

Это означает, что в электроустановках индивидуальных жилых домов, коттеджей, дачных (садовых) домов и других частных сооружений, где не всегда имеется возможность выполнить заземлитель с требуемыми нормами параметрами, необходимо применять систему TT с обязательной установкой УЗО. В этом случае требования к значению сопротивления заземлителя значительно снижаются.

Таблица Б 1 – Допустимые значения сопротивления заземления

Сопротивление заземления R_z , Ом	5000	1666	500	166	100
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$, мА	10	30	100	300	500

2 Защита в электроустановках системы TN

Электроустановки системы $TN-C$

В электроустановках системы TN все открытые проводящие части электроустановок должны быть присоединены к заземленной нейтральной точке источника питания посредством защитных проводников. Основное условие электробезопасности системы TN состоит в том, чтобы значение тока при коротком замыкании между фазным проводником и открытой

проводящей частью превышало величину тока срабатывания защитного устройства за нормированное время.

В случае использования в качестве защитного устройства УЗО значение тока короткого замыкания следует заменить на значение номинального отключающего дифференциального тока устройства $I_{\Delta n}$. При этом задача обеспечения низкого значения сопротивления "фаза-ноль", которую надо решать при использовании защиты от сверхтока, заменяется на проверку работоспособности УЗО и защитного проводника. Контроль сопротивления цепи "фаза-ноль" следует производить только на входных зажимах УЗО.

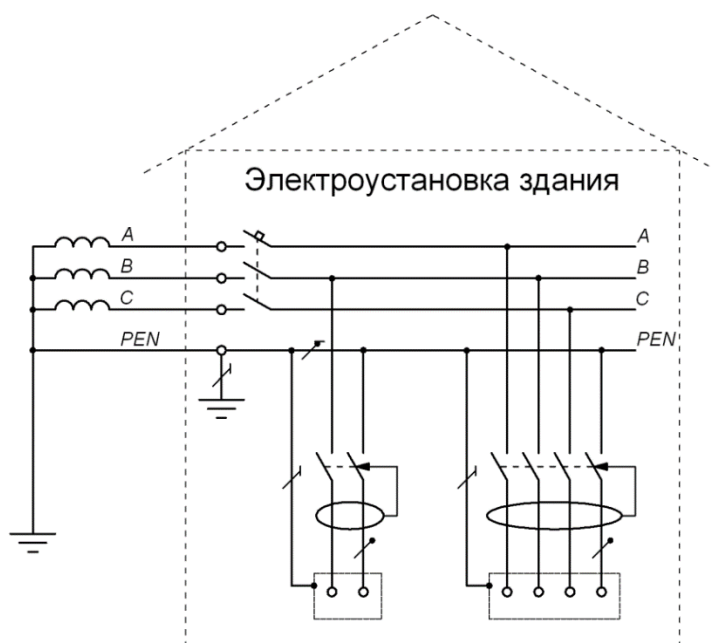


Рисунок Б 2

Самой используемой разновидностью системы *TN* является система *TN-C*. В качестве защитного проводника при этом используется проводник *PEN*, который одновременно выполняет функции рабочего и нулевого защитного проводника.

В ПУЭ 7-го издания имеется указание: "Не допускается применять УЗО, реагирующее на дифференциальный ток, в четырехпроводных трехфазных цепях (система *TN-C*). В случае необходимости применения УЗО для защиты отдельных электроприемников, получающих питание от системы *TN-C*,

защитный *PE* проводник электроприемника должен быть подключен к *PEN* проводнику цепи, питающей электроприемник, до защитно-коммутационного аппарата".

Это означает, что как исключение для защиты отдельных электроприемников ПУЭ допускают применение УЗО в системе *TN-C*, при соблюдении определенных условий - подсоединения открытых проводящих частей электроприемников к *PEN*- проводнику со стороны источника питания по отношению к УЗО.

Электроустановки системы *TN-S*

Более современной и в большинстве случаев более безопасной является система *TN-S*, где используется самостоятельный нулевой защитный проводник *PE* и нулевой рабочий проводник *N*, которые прокладываются отдельно, начиная от вывода источника питания. Эта система уже долгое время используются в телекоммуникационных сетях (при этом исключаются помехи в слаботочных сетях, образующиеся при протекании части рабочего тока в земле в сети системы *TN-C*). Применение УЗО обязательно, кроме оговоренных особых случаев (например, цепи питания пожарной сигнализации).

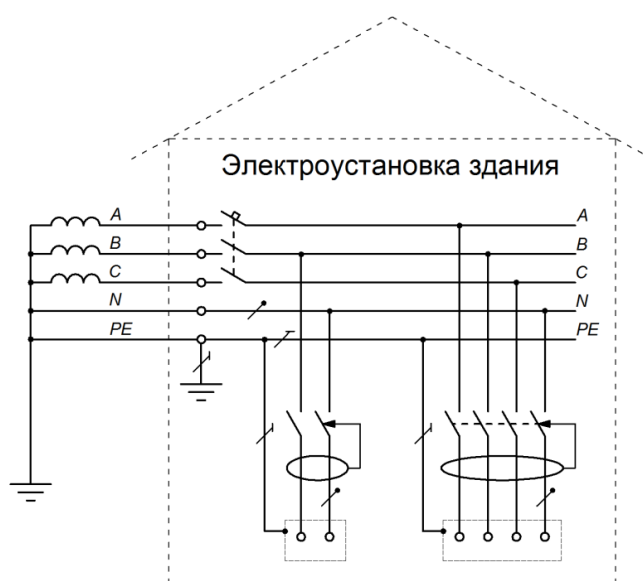


Рисунок Б 3

Электроустановки системы *TN-C-S*

При разделении, например в групповом щитке, в электроустановке системы *TN* проводника *PEN* на отдельные проводники *PE* и *N* образуется система *TN-C-S*. При этом, как в сети системы *TN-S*, проводники *PE* и *N* должны прокладываться раздельно, а их соединение после точки раздела недопустимо. Данная система в настоящее время - основная, которую можно выполнить в отдельной части электроустановки при проведении реконструкции.

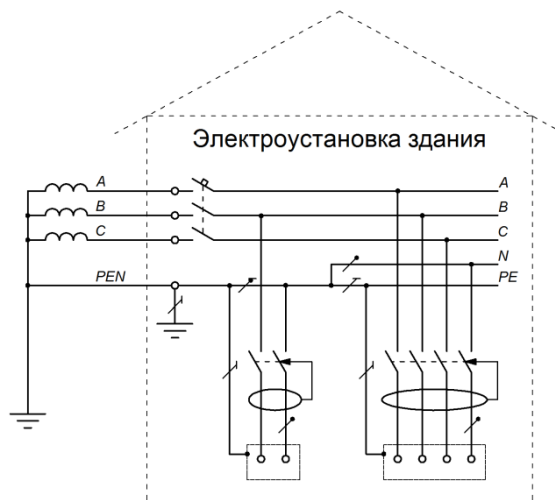


Рисунок Б 4

3 Защита в электроустановках системы *IT*

В электроустановках системы *IT* источник питания должен быть изолирован от земли или связан с ней посредством подключения к нейтрали достаточно большого сопротивления. В сети имеется определенное активное сопротивление и емкость по отношению к земле, которые представляют собой путь для тока утечки или тока замыкания на землю.

В системе *IT* значение тока замыкания на землю определяется состоянием изоляции сети относительно земли. При хорошем состоянии изоляции (высоком сопротивлении относительно земли) ток замыкания на землю очень мал. В случае прямого прикосновения человека к токоведущим частям электроустановки ток через тело человека также определяется сопротивлением изоляции и при сопротивлении изоляции выше

определенного значения не представляет опасности для жизни. Таким образом, уровень сопротивления изоляции является в системе *IT* фактором, определяющим как надежность, так и электробезопасность ее эксплуатации, поэтому очень важно поддерживать сопротивление изоляции на высоком уровне, а ведение автоматического постоянного контроля изоляции должно быть обязательным электрозащитным мероприятием.

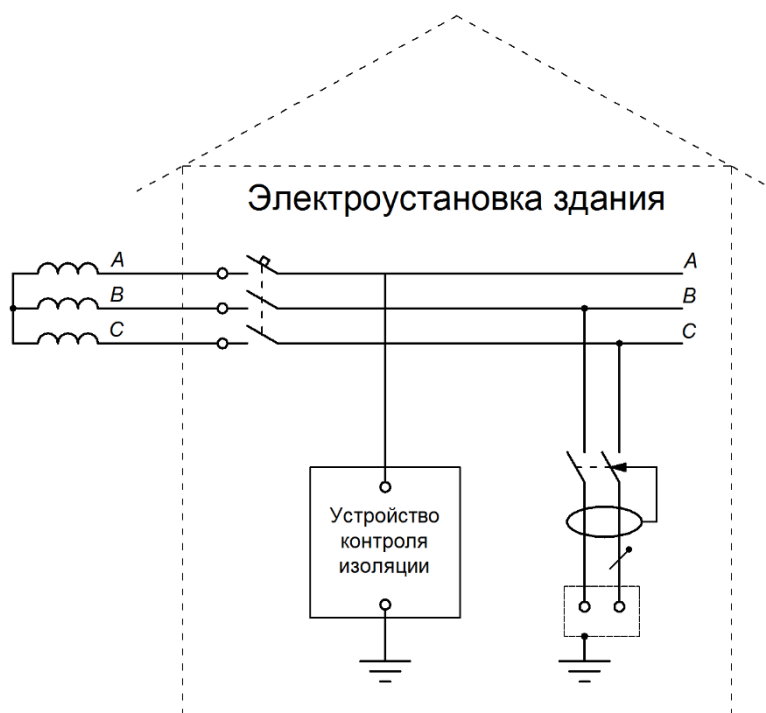


Рисунок Б 5

Применение УЗО в системе *IT* регламентируется ПУЭ 7-го издания следующим образом (п. 1.7.58): "...В таких электроустановках для защиты при косвенном прикосновении при первом замыкании на землю должно быть выполнено защитное заземление в сочетании с контролем изоляции сети или применены УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА".

В электроустановках системы *IT* устройства контроля изоляции подают сигнал при первом замыкании на землю. Если до устранения первого замыкания происходит второе замыкание на землю, то происходит срабатывание УЗО.

Основное требование при использовании УЗО - устанавливать его необходимо как можно ближе к электроприемнику. Одновременное функционирование устройств контроля изоляции и УЗО не оказывает влияния на работу каждого из этих устройств.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по дисциплине «Охрана труда и электробезопасность» для студентов

Направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Направленностей (профилей) подготовки:

«Электроснабжение»,

«Электроэнергетические системы и сети»,

«Цифровые технологии в электроэнергетике»

«Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

Составители: Мартусенко В.Е.

Редактор:

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16.

Усл. п. л. – 4,9.

Уч.-изд. л. – 5,1.

Бумага газетная.

Печать офсетная.

Заказ

Тираж 50 экз.

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

355029, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1

Издательство ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Отпечатано в типографии СКФУ

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

(подпись)
«___» _____ 202_ г.

ОХРАНА ТРУДА И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

ПРАКТИКУМ

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Направленности (профили) подготовки: «Электроснабжение»,
«Электроэнергетические системы и сети», «Цифровые технологии в
электроэнергетике», «Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем»
квалификация выпускника «бакалавр»
очная, заочная, очно-заочная формы обучения

«СОГЛАСОВАНО»

Зав. выпускающей кафедрой АЭСиЭ
Кононов Ю.Г. _____
«___» _____ 20__ г.

Декан факультета нефтегазовой
инженерии
Верисокин А.Е. _____
«___» _____ 20__ г.

Рассмотрено УМК ФНИ
«___» _____ 20__ г.

Протокол № _____
Председатель УМК

«РАЗРАБОТАНО»

Зав. кафедрой АЭСиЭ
Кононов Ю.Г. _____
«___» _____ 20__ г.

Ст. препод. кафедры АЭСиЭ
Мартусенко В.Е. _____
«___» _____ 20__ г.

Рекомендовано к размещению на
образовательном портале СКФУ

«___» _____ 20__ г.

Ставрополь, 2026

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Мартусенко В.Е.

ОХРАНА ТРУДА И ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

ПРАКТИКУМ

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Направленности (профили) подготовки: «Электроснабжение»,
«Электроэнергетические системы и сети», «Цифровые технологии в
электроэнергетике», «Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем», квалификация выпускника «бакалавр»

Ставрополь

2026

Печатается по решению
Учебно-методического совета
Северо-Кавказского федерального
университета
УДК
ББК

Рецензенты:

Мартусенко В.Е. Охрана труда и электробезопасность: практикум –
Ставрополь, 2026

Практикум предназначен для студентов направления подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» направленности (профили) подготовки: «Электроснабжение», «Электроэнергетические системы и сети», «Цифровые технологии в электроэнергетике», «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», квалификация выпускника «бакалавр», очной, очно-заочной, заочной форм обучения.

В практикуме приводятся теоретические сведения и методика проведения практических занятий по дисциплине «Охрана труда и электробезопасность», индивидуальные задания для выполнения этих работ по темам: защитные меры в электроустановках, основы электробезопасности, действие электрического тока на организм человека.

©ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», 2026

Содержание

Предисловие	6
Практическое занятие № 1 Расчет кратности воздухообмена в помещении	10
Практическое занятие № 2 Определение уровня шума и звукоизоляции	23
Практическое занятие № 3 Расчет рассеивания холодных выбросов из одиночного источника	29
Практическое занятие № 4 Расчет установок искусственного освещения по методу удельной мощности	34
Практическое занятие № 5 Расчет установок искусственного освещения по методу светящейся линии	50
Практическое занятие № 6 Расчет установок искусственного освещения по методу коэффициента использования	56
Практическое занятие № 7 Расчет установок искусственного освещения по точечному методу	62
Практическое занятие № 8 Расчет установок искусственного освещения по методу круглосимметричных точечных излучателей	69
Практическое занятие № 9 Расчет эффективности звукопоглощения	75
Практическое занятие № 10 Расчет заземления в двухслойной земле	87
Практическое занятие № 11 Назначение и устройство защитного заземления	94
Практическое занятие № 12 Защитное заземление	110
Практическое занятие № 13 Защитное зануление	122
Практическое занятие № 14 Защитное отключение	134
Практическое занятие № 15 Анализ электробезопасности сетей типа <i>IT</i> и <i>TN-C</i>	141
Практическое занятие № 16 Явления при стекании тока в землю. Напряжение прикосновения и шага	158
Практическое занятие № 17 Сопротивление растеканию полусферового заземлителя	171

Практическое занятие № 18	Расчет защитного зануления на отключающую способность	180
Практическое занятие № 19	Выбор аппаратов защиты в электроустановках	195
Практическое занятие № 20	Расчёт заземляющего устройства ПС 10/0,4 кВ	214
Практическое занятие № 21	Расчет заземляющего устройства ПС 35/10 кВ	223
Практическое занятие № 22	Статистический метод расчета заземления	226
	Литература	238
	Приложение А	241
	Приложение Б	244

Предисловие

Одной из основных дисциплин, на которых базируются курсы направлений подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», направленностей (профилей) подготовки: «Электроснабжение», «Электроэнергетические системы и сети», «Цифровые технологии в электроэнергетике», «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», является дисциплина «Охрана труда и электробезопасность».

«Охрана труда и электробезопасность» - относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Б1.В.11, в которой соединена тематика безопасного взаимодействия человека со средой обитания (производственной, бытовой, городской, природной) и вопросы защиты от негативных факторов электрического тока. Изучением дисциплины достигается формирование у специалистов представления о неразрывном единстве эффективной профессиональной деятельности с требованиями к безопасности и защищенности человека. Реализация этих требований гарантирует сохранение работоспособности и здоровья человека, готовит его к действиям в экстремальных условиях.

Знания, умения и навыки, полученные студентами при изучении данной дисциплины, используются при выполнении выпускной квалификационной работы, а также представляют собой значительную долю знаний, умений и навыков, необходимых выпускникам в профессиональной научной деятельности.

Для освоения дисциплины поставлены следующие **задачи**:

- формирование у студента теоретической базы и практических навыков в области охраны труда и электробезопасности систем электроснабжения;
- получение знаний по разработке и реализации мер защиты человека в области охраны труда и электробезопасности;
- в выработке у студентов умений и навыков повышения электробезопасности повседневным улучшением условий труда,

совершенствованием мер и средств защиты персонала и других лиц, занимающихся эксплуатацией электроустановок;

- формирование у студентов систематических знаний фундаментальных принципов и создания комфортного (нормативного) состояния среды обитания в зонах трудовой деятельности и отдыха человека;

- получение знаний по разработке и реализации мер защиты человека и среды обитания от негативных воздействий;

- развитие навыков в принятии решений по защите производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий и применения современных средств поражения, а также принятия мер по ликвидации их последствий.

Дисциплина «Охрана труда и электробезопасность» призвана стать теоретической основой для выработки у студентов умений и навыков повышения электробезопасности повседневным улучшением условий труда, совершенствованием мер и средств защиты персонала и других лиц, занимающихся эксплуатацией электроустановок.

Она относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Б1.В.11 и ее освоение происходит в 7 и 8 семестрах.

Практические занятия проводятся в специализированных лабораториях и аудиториях. Занятия обеспечиваются необходимым наглядным материалом, стендами и приборами. Количество студентов в подгруппе составляет 10-14 человек. В ходе учебного занятия студенты проходят входное тестирование (собеседование), самостоятельно и при участии преподавателя выполняют практические занятия, отчитываются за проделанную на занятии учебную работу.

Работа студентов на занятиях оценивается в рамках балльно-рейтинговой системы оценки образовательной деятельности студентов.

Для решения задач образовательного процесса разработан учебно-профессиональный (методический) комплекс, включающий в себя ряд элементов: федеральный государственный образовательный стандарт, рабочая учебная программа, методические разработки для студентов и преподавателей

по каждому практическому занятию, экзаменационные материалы, тексты лекций, перечень информационного и материального обеспечения образовательного процесса.

Для достижения планируемых результатов обучения, в дисциплине «Охрана труда и электробезопасность» используются различные образовательные технологии:

Информационно-развивающие технологии, направленные на формирование системы знаний, запоминание и свободное оперирование ими. Используется лекционно-семинарский метод, самостоятельное изучение литературы, применение новых информационных технологий для самостоятельного пополнения знаний, включая использование технических и электронных средств информации.

Деятельностные практико-ориентированные технологии, направленные на формирование системы профессиональных практических умений при проведении экспериментальных исследований, обеспечивающих возможность качественно выполнять профессиональную деятельность. Используется анализ, сравнение методов проведения исследований, выбор метода, в зависимости от объекта исследования в конкретной производственной ситуации и его практическая реализация.

Развивающие проблемно-ориентированные технологии, направленные на формирование и развитие проблемного мышления, мыслительной активности, способности видеть и формулировать проблемы, выбирать способы и средства для их решения. Используются виды проблемного обучения: освещение основных проблем на лекциях, учебные дискуссии, коллективная деятельность в группах при выполнении лабораторных работ, решение задач повышенной сложности. При этом используются первые три уровня (из четырех) сложности и самостоятельности: проблемное изложение учебного материала преподавателем; создание преподавателем проблемных ситуаций, а обучаемые вместе с ним включаются в их разрешение; преподаватель создает проблемную ситуацию, а разрешают её обучаемые в ходе самостоятельной деятельности.

Личностно-ориентированные технологии обучения, обеспечивающие в ходе учебного процесса учет различных способностей обучаемых, создание необходимых условий для развития их индивидуальных способностей, развитие активности личности в учебном процессе. Личностно-ориентированные технологии обучения реализуются в результате индивидуального общения преподавателя и студента при защите лабораторных работ, при выполнении домашних индивидуальных заданий, решении задач повышенной сложности, на еженедельных консультациях.

Для реализации самостоятельной работы созданы следующие условия и предпосылки:

1. Студенты обеспечены информационными ресурсами (учебниками, справочникам, учебными пособиями, банком индивидуальных заданий);
2. Студенты обеспечены информационными ресурсами (методические указания выдаются заранее в электронном виде).
3. Разработаны контролирующие материалы в тестовой форме, позволяющие оперативно оценить уровень подготовки студентов.
4. Организованы еженедельные консультации (также для отработки пропущенных занятий).

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

13.03.02	
Цикл, в рамках которого изучается	Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Б1.В.11
семестр	7-8 семестр
Количество зачетных единиц	6 з.е.
Реализуемые компетенции	УК-8; ПК-3; ПК-5

Практическое занятие № 1

Расчет кратности воздухообмена в помещении

Цель работы: получить представление о назначении вентиляции; ознакомиться с методами расчета при различных внешних факторах.

Теоретическая часть

1 Расчет воздухообмена в производственном помещении при выделении вредных веществ

Содержание вредных веществ в рабочей зоне не должно превышать установленных предельно допустимых концентраций (ПДК).

По воздействию на организм вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности:

- 1) вещества чрезвычайно опасные;
- 2) вещества высокоопасные;
- 3) вещества умеренноопасные;
- 4) вещества малоопасные.

Для определения воздухообмена требуется знать количество вредных веществ, выделяющихся в помещении в единицу времени. Определение количества вредных веществ производится по формулам, графикам и таблицам, приводимым в справочной литературе.

Количество жидкости (не воды), испаряющейся со свободной поверхности, кг/ч, может быть определено приближенно по формуле:

$$G = M \cdot (0,00035 + 0,0008 \cdot v) \cdot P \cdot F, \quad (1.1)$$

где M – молекулярный вес испаряющейся жидкости;

v – скорость движения воздуха над источником испарения, м/с;

P – упругость паров жидкости, насыщающих воздух при температуре жидкости, мм рт. ст.;

F – поверхность испарения, м².

Расчетные значения упругости паров P для некоторых жидкостей, испаряющихся при температуре помещения, приведены в таблице 1.1. Данные этой таблицы учитывают снижение температуры поверхности жидкости за счет отвода тепла при испарении летучих жидкостей.

Таблица 1.1 – Упругость насыщенного пара некоторых жидкостей при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Наименование жидкости	P , мм рт. ст.	Наименование жидкости	P , мм рт. ст.
Этиловый эфир	43	Амитиловый спирт хлорбензол	4
Ацетон	28	Анилин, нитробензол	0.3
Этиловый спирт, бензол, дихлорэтан	15	Ртуть	0,0012

Таблица 1.2 – Расчетные скорости в проемах укрытий

Род операции	Вид укрытия	Выделяющиеся вредности	Минимальная расчетная скорость, м/с
Пайка свинцом и сплавами ПОС	Шкаф, витринное укрытие, козырек	Аэрозоль свинца и дым	0,7 – 0,8
Пайка без свинца	То же	Аэрозоль металла и дым	0,4 – 0,5
Лабораторные и полужаводские установки	Шкаф, кожух, разборное укрытие	Газы и пары при ПДК до 10 мг /м	0,5
То же	То же	До 1 мг /м	0,7 – 1
То же	То же	Ниже 1 мг /м	1,2 – 1,5
Работы с эпоксидными смолами: без нагрева	Шкаф, кожух	Эпихлоргидрит, пары дифенинол пропана	1
то же с нагревом	То же	То же	1,5

Продолжение таблицы 1.2

Ручная работа с выделением паров и газов То же	Витринное укрытие, козырек То же	Пары и газы при ПДК до 10 мг /м То же до 1 мг /м	0,6 – 0,8 1 – 1,3
Травление в соляной и азотной кислоте	Шкаф, кожух, козырек	Хлористый водород, окислы азота	0,7 – 1,2
Травление в серной кислоте при $t = 15 - 60^{\circ}\text{C}$	Шкаф, кожух	Туман серной кислоты	0,6 – 0,9
Электролитическое обезжиривание	То же	Туман щелочей	0,8 – 1
Промывка в бензине	Шкаф, витринное укрытие	Пары бензина	0,5 – 0,6

Рекомендуется принимать следующие значения скорости v :

– для воздуха, движущегося естественно:

$$v = 0,3 - 0,4 \text{ м/с};$$

– для воздуха, движущегося принудительно, в среднем:

$$v = 0,6 \text{ м/с}.$$

Поскольку в электронной промышленности работа с вредными веществами осуществляется в укрытиях (вытяжной шкаф, витринное укрытие, кожух и т.д.), для конкретных операций соответствующие значения минимальной расчетной скорости даны в таблице 1.2.

Помещения, в которых выделяются вредные вещества, необходимо оборудовать местными отсосами различной конструкции. Общеобменную вентиляцию следует рассматривать как дополнительную к местной, и рассчитывать на разбавление прорывающихся в помещение вредных веществ. Независимо от устройства местной вентиляции при выделении газов и паров, имеющих плотность меньше плотности воздуха, необходимо предусматривать устройства для проветривания верхней зоны.

Воздухообмен определяется по формуле:

$$L = \frac{m \cdot G}{K_{ндк} - K_{пр}}, \quad (1.2)$$

где G – количество вредных веществ, выделяющихся в помещении в течение 1 часа;

$K_{ндк}$ – предельно допустимая концентрация вредных веществ в помещении, мг/м³ [3];

$K_{пр}$ – концентрация вредности в приточном воздухе, мг/м³;

m – коэффициент неравномерности распределения вредного вещества по помещению.

Рекомендуется следующие значения коэффициента неравномерности:

1. При естественном удалении вредных веществ из рабочей зоны за счет тепловых струй, малого удельного веса и т.д.

а) для малотоксичных вредных веществ или для вредных, не вызывающих тяжелых последствий при кратковременном повышении концентрации независимо от неравномерности выделения

$$m = 1,2 - 1,3;$$

б) для токсичных вредных веществ при относительно равномерном выделении по времени

$$m = 1,3 - 1,4;$$

в) то же, но при неравномерном выделении

$$m = 1,4 - 1,6.$$

2. При отсутствии естественного удаления вредных веществ из рабочей зоны:

а) $m = 1,3 - 1,5;$

б) $m = 1,5 - 1,7;$

в) $m = 1,7 - 2.$

3. При зональной вентиляции с отсосом воздуха у места возможного выделения вредных веществ

а) $m = 1,1 - 1,2;$

б) $m = 1,2 - 1,3$;

в) $m = 1,3 - 1,4$.

При наличии местных отсосов воздухообмен определяется из следующей зависимости:

$$L = \frac{m \cdot (K - K_{м.о})}{K_{подк} - K_{пр}} \cdot L_{м.о}, \quad (1.3)$$

где K – количество вредных веществ, выделяющихся в помещении, мг/м³;

$K_{м.о}$ – количество вредных веществ, уносимых местными отсосами, мг/м³;

$L_{м.о}$ можно определить из выражения

$$K_{м.о} = L_{м.о} \cdot (K_{подк} - K_{пр}), \quad (1.4)$$

где $L_{м.о}$ – количество воздуха, удаляемого местными отсосами, м³/ч.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ одностороннего действия расчет общеобменной вентиляции надлежит производить путем суммирования объемов воздуха, необходимых для разбавления каждого вещества в отдельности до его предельно допустимой концентрации с учетом загрязнения приточного воздуха. К веществам одностороннего действия относятся растворители и раздражающие газы.

Для этого случая воздухообмен определяется по формуле:

$$L = \frac{G_1}{K_1} + \frac{G_2}{K_2} + \dots \frac{G_n}{K_n}, \quad (1.5)$$

где $G_1, G_2, \dots, G_n$ – количество выделяющихся в помещение паров каждого вещества, мг/ч;

$K_1, K_2, \dots, K_n$ – предельно допустимые концентрации вредностей, мг/м³.

Пример 1

При выделении следующих количеств паров растворителей, мг/ч; ацетона – 250000, уайт – спирита – 300000, скипидара – 200000 – определить

необходимый воздухообмен, исходя из того, что ПДК ацетона и ПДК скипидара составляют 200 мг/м³, а ПДК уайт – спирита – 300 мг/м³.

Решение

Находим воздухообмен по формуле (1.6)

$$L = \frac{25000}{200} + \frac{30000}{200} + \frac{20000}{200} = 3200 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (1.6)$$

При одновременном выделении в воздух нескольких вредных веществ, не обладающих однонаправленным характером действия, количество воздуха при расчете общеобменной вентиляции допускается принимать по тому вредному веществу, для которого требуется подача наибольшего количества приточного воздуха. Если нельзя точно определить количество выделяющихся вредных веществ, но известны их качественные показатели, возможен расчет количества приточного воздуха по нормативной кратности обмена. В этом случае воздухообмен, м³/ч, определяется по формуле

$$L = n \cdot V \quad (1.7)$$

где: n – нормативная кратность воздухообмена (значения n даны в соответствующих выпусках СНиП и справочниках), м³/ч;

V – объем помещения, м³.

Расчет воздухообмена в производственном помещении при наличии влаговывделений

При общеобменной вентиляции количество воздуха, необходимого для разбавления влаги, выделяющейся в помещении, определяется по формуле

$$G = \frac{W}{d_{yx} - d_{np}} \quad (1.8)$$

или

$$G = \frac{m \cdot W \cdot 1000}{d_{p3} - d_{np}} \quad (1.9)$$

где W – количество влаги, выделяющейся в помещении, кг/ч;

d_{np}, d_{yx} – влагосодержание соответственно приточного и уходящего из помещения воздуха, г/кг;

d_{pz} – предельно допустимое влагосодержание воздуха в рабочей зоне помещения, г/кг.

Коэффициент m по влаге выражает отношение приращения влагосодержания в рабочей зоне к приращению влагосодержания по всему помещению:

$$m = \frac{d_{pz} - d_{np}}{d_{xy} - d_{np}}; \quad (1.10)$$

Значение коэффициента m по влаге для схемы воздухообмена «снизу – вверх» рекомендуется принимать при следующей высоте помещения:

- более 5 м равным 0,6 – 0,8;
- от 3,5 до 5 м равным 0,8 – 0,9;
- менее 3,5 м равным 1.

При сосредоточенной подаче коэффициент m по влаге принимается в пределах 0,7 – 0,9.

Значение d_{xy} определяется из уравнения (1.11)

$$d_{xy} = d_{np} + \frac{d_{pz} - d_{np}}{m}; \quad (1.11)$$

Пример 2

Для теплого времени года определить воздухообмен, необходимый для усвоения 20 кг влаги, выделяющейся в цехе. Температура приточного воздуха 20 °С, влагосодержание – 9 г/кг, температура рабочей зоны – 23°С, влагосодержание – 12 г/кг. Коэффициент m по влаге равен 0,6.

Решение

Необходимый воздухообмен для усвоения выделяющейся в цехе влаги определяется по формуле (1.12)

$$C = \frac{0,6 \cdot 20 \cdot 100}{12 - 9} = 4000 \text{ кг/ч}; \quad (1.12)$$

Количество воды, испаряющейся со смоченной поверхности, кг/ч, при известных начальной и конечной температурах можно определить по формуле:

$$m = \frac{G_c \cdot (t_e - t_y)}{585}, \quad (1.13)$$

где G_c – количество горячей воды, стекающей на поверхность, кг/ч;

t_e – температура вытекающей горячей воды, °С;

t_y – конечная температура воды, поступающей в канализацию, °С.

Количество воды, испаряющейся с 1 м зеркала ванны при спокойной поверхности и параметрах воздуха в помещении $t = 20$ °С и скорости воздуха над поверхностью испарения, равной $v = 0,3$ м/с, приведены в таблице 1.1.

При испарении с какой – либо поверхности холодной воды (с температурой мокрого термометра) рекомендуется пользоваться формулой

$$W = \frac{3,7 \cdot (t_c - t_m) \cdot F}{585} \text{ кг/ч}, \quad (1.15)$$

где t_c – температура по сухому термометру;

t_m – температура по мокрому термометру;

F – поверхность испарения, м².

При кипении воды с 1 м зеркала испарения выделяется до 50 кг/м, при интенсивном кипении – даже больше и вычисляется по количеству подводимого тепла.

Количество влаги, выделяемое людьми, обычно зависит от рода выполняемой ими работы и от температуры окружающей среды и приведено в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Влаговыведения от одного человека, г/ч

	Температура воздуха, ° С			
	15	20	25	30
Легкая	55	70	125	140
Средняя	110	160	180	230
Тяжелая	185	200	300	380

Таблица 1.4 – Количество воды, испаряющейся с 1 м² поверхности ванны

t жидкости	t поверхности	G кг/ч	t жидкости	t поверхности	G кг/ч
25	23	0,24	65	54	4,6
30	28	0,26	70	58	5,7
35	33	0,83	73	63	8,0
40	37	1,24	80	69	11,3
45	41	1,74	85	75	15,5
50	45	2,25	90	82	20,8
55	48	2,28	95	90	33,4
60	51	3,55	100	97	43,5

Расчет воздухообмена при наличии тепловыделения от нагретых поверхностей оборудования.

Расчет воздухообмена при наличии тепловыделений производится по формуле

$$q = \frac{Q_{изб}}{0,24 \cdot x \cdot (t_{yx} - t_{np})}, \quad (1.16)$$

где $Q_{изб}$ – тепловыделения от оборудования, кВт

t_{yx} , t_{np} – температура уходящего и приточного воздуха соответственно.

Тепловыделения от нагретых поверхностей термического оборудования, кВт, определяются формулой

$$Q = \sum F_i \cdot a_t \cdot (t_{cm.n.t} - t_n) \cdot 10^{-3}, \quad (1.17)$$

где F_t – площади нагретых поверхностей, м²;

a_t – коэффициенты теплоотдачи от стенок наружных поверхностей к воздуху помещения Вт/м²·К:

- для цилиндрических поверхностей $a_t = 8,1 + 0,045 \cdot (t_{cm.n.t} - t_n)$;

- для плоских поверхностей $a_t = 8,4 + 0,06 \cdot (t_{cm.n.t} - t_n)$; $t_{cm.n.t}$ –

температуры наружных стенок, К(°С);

t_n – температура воздуха помещения, К(°С).

Выбор вентилятора и электродвигателя

Выбор вентилятора.

Исходными данными для выбора вентилятора являются суммарный расход воздуха в сети L , м³/с ; суммарные потери давления $\Delta p = 209,5$ Па ($1 \text{ Па} = \text{н/м}^2 = 0,102 \text{ (кгс)/м}^2$); $t = 20$ °С.

Выбор вентилятора производится на расчетный расход воздуха с учетом подсосов и утечек:

$$L = 1,1 \cdot L = 1,1 \cdot 0,98 = 1,07 \text{ м}^3/\text{с} . \quad (1.20)$$

Так как технические характеристики вентиляторов приводятся для стандартных условий чистого воздуха при $t = 20$ °С, плотности $\rho = 1,2$ кг/м³ , влажности ($\phi = 50\%$, барометрическом давлении $p_0 = 0,103$ МПа, расчетное сопротивление сети (суммарные потери давления) необходимо привести к условиям характеристики:

$$\Delta p_p = \Delta p \cdot k_p = 209,5 \text{ Па} \quad (1.21)$$

где: $k_p = \frac{273,1 \cdot t}{293,1} \cdot \frac{0,103}{p_\delta}$

где: p_δ – фактическое барометрическое давление в месте установки вентилятора. (В нашем случае $t = 20$ °С; $p_\delta = 0,103$ МПа и $k_p = 1$).

Выбираем вентилятор по $L_p = 1,07$ м³/с и $\Delta p_p = 209,5$ Па.

Тип вентилятора: А 5090 – 1; $\eta = 0,8$.

Мощность на валу вентилятора

$$N = \frac{L_p \cdot \Delta p_p}{1000 \cdot \eta} = \frac{1,07 \cdot 209,5}{1000 \cdot 0,8} = 0,280 \text{ кВт}$$

где: η – КПД вентилятора по справочнику [7,13], $\eta = 0,8$.

Выбор электродвигателя

При выборе электродвигателя для привода вентилятора надо стремиться к тому, чтобы вентилятор и электродвигатель находились на одном валу или соединялись через муфту. Мощность двигателя:

$$N = \frac{L_p \cdot \Delta p_p}{1000 \cdot \eta \cdot \eta_n} = \frac{N}{\eta_n} = \frac{0,280}{0,98} = 0,286 \text{ кВт}$$

(при соединении муфтой), (2.31)

где η_n – КПД передачи для общего вала. $\eta_n = 1$, для муфты $\eta_n = 0,98$, для клиноременной передачи $\eta_n = 0,95$.

Установочная мощность двигателя:

$$N_y = K_z \cdot H_{\text{дв}} = 1,5 \cdot 0,286 = 0,43 \text{ кВт} \quad (1.22)$$

где K_z – коэффициент запаса мощности (см. таблицу 1.5).

Таблица 1.5 – Коэффициент запаса мощности

Мощность на валу электродвигателя, кВт	Коэффициент запаса мощности вентилятора	
	радиальных	осевых
0,5	1,5	1,2
0,5 – 1	1,3	1,15
1,01 – 2	1,2	1,1
2,01 – 5	1,15	1,05
5	1,1	1,05

По каталогам выбираем электродвигатель: для вентилятора А 5090-1 подходит электродвигатель серии 4А типа А 71 В6 мощностью 0,55 кВт, с частотой вращения 920 об/мин. Масса вентилятора с двигателем 111 кг.

Пример 3 Расчет кратности воздухообмена в помещении

Условие: В помещении объёмом $W_n = 810 \text{ м}^3$, имеется n_1 вентиляционных отверстия шириной A' , высотой B' , через которые нагнетается воздух и n_2 вентиляционных отверстия такого же размера для удаления отработанного воздуха. Скорость движения воздуха через отверстие для нагнетания свежего воздуха и удаления отработанного одинакова ($V_{b1} = V_{b2}$) и составляет 1 м/с.

Определить, какое количество свежего воздуха поступает в помещение в течение одного часа и сколько раз за это время успевает обменяться комнатный воздух с наружным.

Решение:

Найдём площадь вентиляционного отверстия:

$$S_b = A' \cdot B'$$

Количество нагнетаемого воздуха находим по формуле:

$$W_1 = n_1 \cdot S_b \cdot V_{b1} \cdot t$$

где $t = 1 \text{ час} = 3600 \text{ с}$.

Количество воздуха, удалённого из помещения:

$$W_2 = n_2 \cdot S_b \cdot V_{b2} \cdot t$$

Кратность обмена воздуха в помещении составит: при нагнетании

$$K_{об1} = W_1 / W_n > 3.5 \text{ раза}$$

При вытяжке:

$$K_{об2} = W_2 / W_n > 3 \text{ раза}$$

Варианты индивидуальных данных к расчету студент выбирает по согласованию с преподавателем.

Таблица 1.6 – Варианты заданий

№ вар	n_1	n_2	A' м	B' м	V_b м/с
1	2	1	0,3	0,2	1
2	2	1	0,33	0,22	1
3	2	1	0,36	0,24	1
4	2	1	0,39	0,26	1
5	2	1	0,42	0,28	1
6	2	1	0,45	0,3	1
7	2	1	0,48	0,32	1
8	2	1	0,51	0,34	1
9	2	1	0,54	0,36	1
10	3	2	0,57	0,38	1
11	3	2	0,6	0,4	1
12	3	2	0,63	0,42	1
13	3	2	0,66	0,44	1
14	3	2	0,69	0,46	1
15	3	2	0,72	0,48	1
16	3	2	0,74	0,5	1
17	3	2	0,72	0,52	1
18	3	2	0,79	0,5	1

Продолжение таблицы 1.6

19	4	3	0,66	0,48	1
20	4	3	0,69	0,46	1
21	4	3	0,6	0,44	1
22	4	3	0,57	0,42	1
23	4	3	0,54	0,40	1
24	4	3	0,51	0,38	1

Вопросы к практическому занятию

1. Изложите понятие о метеорологических условиях в производственных помещениях?
2. Как классифицируют вредные вещества по степени воздействия на организм человека?
3. Исходя из чего нормируют предельно допустимые концентрации вредных веществ (паров, газов, пыли), выделяющихся на производстве?
4. Какие технические мероприятия проводят по оздоровлению воздушной среды на производстве?
5. Как классифицируются вентиляционные устройства?
6. Опишите устройство общей механической вентиляции.
7. Объясните принцип действия естественной вентиляции.
8. Как осуществляется кондиционирование воздуха?
9. Объясните методы расчета потребного количества воздуха механической вентиляции.

Практическое занятие № 2

Определение уровня шума и звукоизоляции

Цель работы: получить представление о шуме и звукоизоляции; ознакомиться с методами расчета и влияние их на организм человека.

Теоретическая часть

Шумом является всякий нежелательный для человека звук. Звук как физическое явление представляет собой волновое движение упругой среды; как физиологическое явление он определяется ощущением, воспринимаемым органом слуха от звуковых волн в диапазоне частот 16 – 20000 Гц.

Шум и звукоизоляции

Источником звуков являются колеблющиеся твердые, жидкие и газообразные тела. Колебательные возмущения, распространявшиеся от источника звука в окружающей среде, называются звуковыми волнами, а пространство, в котором они наблюдаются – звуковым полем. При действии источника звука происходит колебательное движение в среде. Разность между мгновенным значением полного давления и средним давлением, которое наблюдается в среде при отсутствии звуковых волн, называется звуковым давлением. Количественная оценка звукового давления производится величиной среднеквадратичного значения и измеряется в *Па*.

Человек способен воспринимать звуковые давления в диапазоне от $2 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^2$ *Па*. Использование такой сильно изменяющейся величины на практике неудобно, поэтому в технической акустике принято пользоваться относительной логарифмической шкалой уровней, которая позволяет сократить диапазон значений измеряемых величин. Так введено понятие уровня звукового давления, измеряемого в децибелах (*дБ*), величина которого выражается зависимостью:

$$L = 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0},$$

где P – звуковое давление, создаваемое источников звука (Па),

P_0 – пороговое звуковое давление ($P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па). Оно является порогом слышимости на частоте звука 1000 Гц.

Вся шкала стала диапазоном в 140 дБ. При оценке различных шумов можно пользоваться целыми числами, т.к. изменения уровня менее чем на 1 дБ практически не заметны на слух.

При уровнях звукового давления около 140 дБ нормальное слуховое восприятие уступает место ощущению физической боли в ухе. Это, так называемый, «болевой порог», превышение которого может привести к разрыву барабанной перепонки (глухоте).

Анализ шума производится с помощью устройств, состоящих из набора электрических фильтров, каждый из которых вырезает в исследуемом шуме определенную полосу частот, которая характеризуется граничными частотами (f_1 – нижняя граничная частота, f_2 – верхняя граничная частота), шириной и средней частотой. Средняя частота обычно среднегеометрическая величина:

$$f_{с.г} = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

При исследовании фильтров обычно пользуются фильтрами с постоянной относительной полосой пропускания ($f_2/f_1 = \text{const}$). Полоса пропускания, в которой $f_2/f_1 = 2$ называется октавой. Если же это отношение равно 1,26, то ширина полосы равна трети октавы.

Спектр шума – это зависимость уровней звукового давления в октавных или третьоктавных полосах частот от среднегеометрических частот этих полос.

По характеру спектра производственные шумы подразделяются на широкополосные (непрерывный спектр шириной более одной октавы) и тональные (в спектре имеются слышимые дискретные тона). По временным характеристикам шумы подразделяются на постоянные и непостоянные.

Непостоянные шумы в свою очередь подразделяются на колеблющиеся во времени, прерывистые и импульсные.

Характеристикой постоянного шума на рабочих местах являются уровни звуковых давлений в октавных полосах в дБ со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц.

Характеристикой непостоянного шума на рабочих местах является эквивалентный (по энергии) уровень звука в дБА.

Эквивалентным (по энергии) уровнем звука данного непостоянного шума является уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет то же самое среднеквадратическое звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного интервала времени и который определяется по формуле:

$$L_{a_{\text{ЭКВ}}} = 10 \cdot \lg \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 \cdot dt,$$

где $P_A(t)$ – текущее значение среднеквадратического звукового давления с учетом коррекции "А" шумомера (Па), P_0 – пороговое значение звукового давления ($P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па), t – время действия шума (с.)

В данной работе для измерения уровня шума используется прибор ВШВ – 003 (шумомер), предназначенный для измерения шума и вибраций. Диапазон его измерений 20 – 130 дБ.

Задача 1 Определение уровня шума и звукоизоляции

Условие. Производственное оборудование издаёт звук частотой f (Гц). Уровень силы звука на расстоянии r от источника L_m (дБ). Безразмерный коэффициент $K_1 = 3 - 5$. С целью снижения уровня силы звука сделана ограждающая конструкция, масса 1 м^2 которой P_1 , коэффициент звукопоглощения материала $a = 0.2 - 0.8$. допустимая сила звука L_d . Если источников шума несколько (N), то при расчёте принимается уровень силы звука наиболее мощного источника.

Определить звукопоглощающую способность конструкции R_l (уровень силы звука R) и сравнить её с необходимым уровнем звукоизоляции D .

Решение

Вычислим необходимый уровень звукоизоляции ограждающей конструкции (рисунок 2.1):

$$D = L_m' - (L_d - K_l)$$

Найдём звукоизоляцию стенок конструкции или кожуха:

$$K = 20 \cdot \lg.(P_l \cdot f) - 60$$

Рассчитаем величину R_l :

$$R_l = K + 10 \cdot \lg. a$$

Определим эффективность работы конструкции согласно схеме вычислений (рисунок 2.1):

$$R_l = D$$

Определим уровень силы звука:

$$R = L_m - 20 \cdot \lg. r - 8$$

$$R = L_m + 10 \cdot \lg. N$$

Варианты индивидуальных данных к расчету студент выбирает по согласованию с преподавателем.

Вопросы к практическому занятию

1. Что является источниками шума, вибрации, ультразвука, инфразвука и электромагнитных полей в производственных условиях?
2. Каково воздействие шума, вибрации, ультразвука, инфразвука и электромагнитных полей на организм человека?
3. Как нормируются шум, вибрация, ультразвук, инфразвук и электромагнитные поля?
4. Какие приборы применяют для измерения шума, вибрации и электромагнитных полей?

5. Какие меры борьбы с шумом, вибрацией, ультразвуком, инфразвуком, электромагнитными полями в производстве и в быту?

6. Какие средства индивидуальной защиты применимы от шума, вибрации, ультразвука, электромагнитных полей

Таблица 2.1 – Варианты заданий

N вар	f , Гц	r , м	K_1	P_1 , кГ	a	L_d , Дб	N	A_1	A_2	L_m , Дб
1	90	0.7	3.0	0.5	0.2	38	3	0.1	0.12	38
2	100	0.8	3.1	0.6	0.25	42	2	0.1	0.15	42
3	110	0.9	3.2	0.7	0.3	45	3	0.1	0.18	45
4	120	1.0	3.3	0.8	0.35	49	2	0.1	0.21	49
5	130	1.1	3.4	0.9	0.4	50	3	0.1	0.24	50
6	140	1.2	3.5	1.0	0.45	54	2	0.1	0.27	54
7	150	1.3	3.6	1.1	0.5	55	3	0.1	0.30	55
8	160	1.4	3.7	1.2	0.55	58	2	0.1	0.33	58
9	170	1.5	3.8	1.3	0.6	61	3	0.1	0.36	61
10	180	1.6	3.9	1.4	0.65	63	2	0.1	0.39	63
11	190	1.7	4.0	1.5	0.7	68	3	0.1	0.42	68
12	200	1.8	4.1	1.6	0.75	70	2	0.1	0.45	70
13	210	1.9	4.2	1.7	0.8	71	3	0.1	0.48	71
14	220	2.0	4.3	1.8	0.77	73	2	0.1	0.51	73
15	230	2.1	4.4	1.9	0.72	74	3	0.1	0.54	74
16	240	2.2	4.5	2.0	0.67	75	2	0.1	0.57	75
17	250	2.3	4.6	2.1	0.62	79	3	0.1	0.60	79
18	260	2.4	4.7	2.2	0.57	82	2	0.1	0.63	82
19	270	2.5	4.8	2.3	0.52	83	3	0.1	0.66	83
20	280	2.6	4.9	2.4	0.47	87	2	0.1	0.69	87
21	290	2.7	5.0	2.5	0.42	85	3	0.1	0.72	85
22	300	2.8	5.1	2.6	0.37	88	2	0.1	0.75	88
23	310	2.9	5.2	2.7	0.32	91	3	0.1	0.78	91
24	320	3.0	5.3	2.8	0.27	94	2	0.1	0.81	94
25	330	3.1	5.4	2.9	0.22	96	3	0.1	0.84	96
26	340	3.2	5.5	3.0	0.24	92	2	0.1	0.87	92

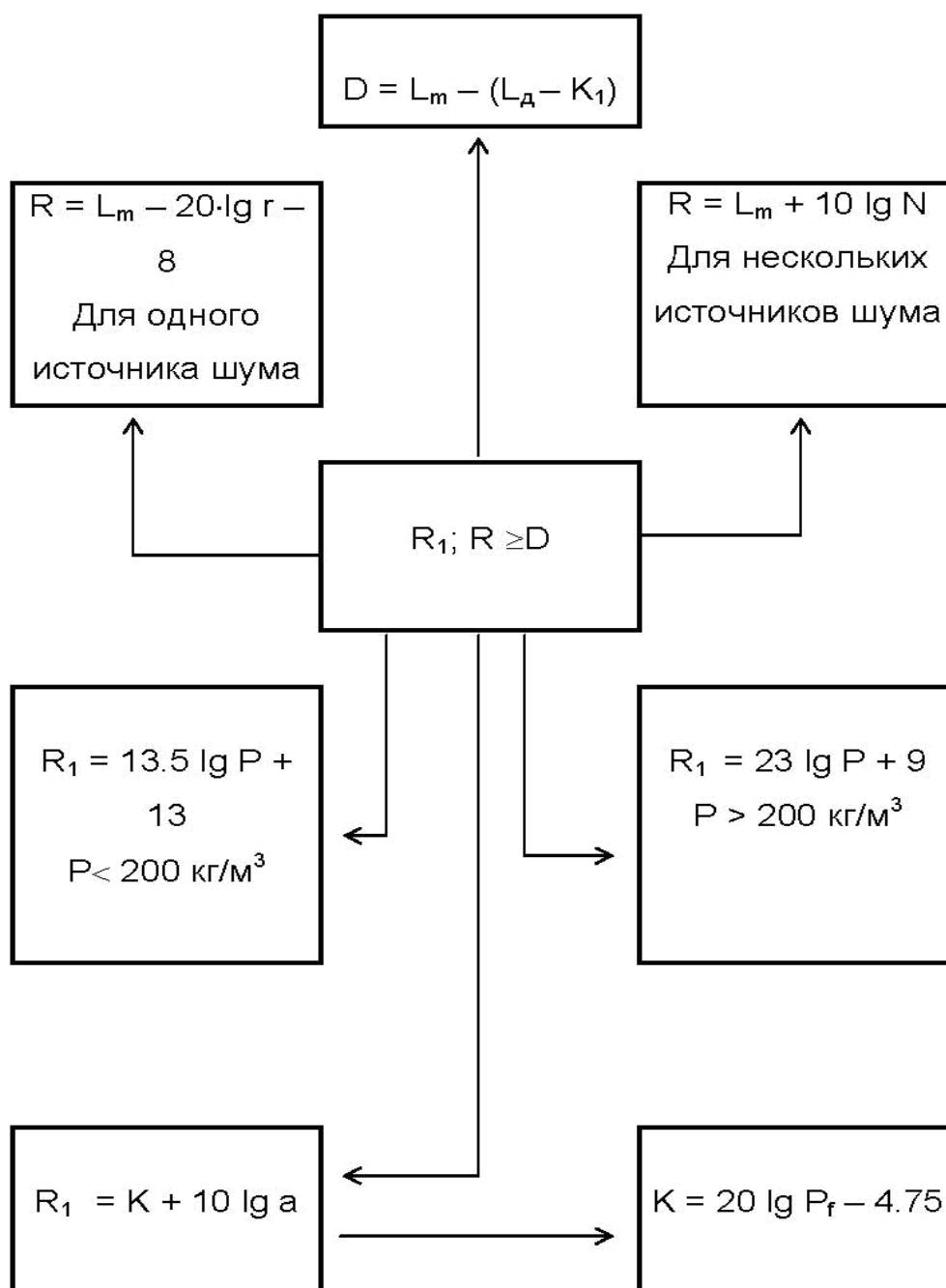


Рисунок 2.1 – Схема вычислений уровня шума и звукоизоляции

Практическое занятие № 3

Расчет рассеивания холодных выбросов из одиночного источника

Цель работы: получить представление о концентрации выбросов, влиянии внешних факторов на их характер; ознакомиться с методами расчета холодных выбросов при влиянии внешних факторов.

Теоретическая часть

Окружающий человека атмосферный воздух непрерывно подвергается загрязнению. Воздух производственных помещений загрязняется выбросами технологического оборудования или при проведении технологических процессов без локализации отходящих веществ.

Наиболее крупными источниками пыли- и газовыделений в атмосферу в литейных цехах являются: вагранки, электродуговые и индукционные печи, установки складирования и переработки шихты и формовочных материалов; участки выбивки и очистки литья.

Вентиляционный воздух, выбрасываемый из термических цехов обычно загрязнен парами и продуктами горения масла. Аммиаком, циановодородом и другими веществами, поступающими в систему местной вытяжной вентиляции от ванн и агрегатов для термической обработки.

Много загрязняющих веществ поступает в атмосферный воздух от энергетических установок, работающих на углеводородном топливе (бензине, керосине, дизельном топливе, мазуте, угле и др.) Основные компоненты, выбрасываемые в атмосферу при сжигании различных видов топлива в энергоустановках, - нетоксичные диоксид углерода и водяной пар. Однако кроме них в атмосферу выбрасываются и вредные вещества, такие как оксид углерода, оксиды серы, азота соединения свинца, сажа, углеводороды, в том числе канцерогенные несгоревшие частицы твердого топлива и т.п.

Задача 1

Расчет рассеивания холодных выбросов из одиночного источника

Из одиночного источника с круглым (L – длина источника выброса, м) устьем (эффективный диаметр устья источника выброса $D_э$) со средней скоростью выхода из устья W_0 выбрасывается в атмосферу цементная пыль в количестве M . Высота источника выброса над уровнем земли H . Скорость ветра U . Расстояние от источника выброса до расчетной точки $Ч$ составляет 300 метров, до расчётной точки $У$ – 100 метров. Значение коэффициента A' (см. таблицу). $F = 1$.

Рассчитать максимальную приземную концентрацию пыли (вредное вещество) C_m (мг/м³) при неблагоприятных метеоусловиях на расстоянии X_m , максимальную концентрацию цементной пыли C_{mi} (мг/м³) при неблагоприятных метеоусловиях и скорости ветра U , приземную концентрацию пыли C (мг/м³) по оси факела, концентрацию цементной пыли в атмосфере C_y (мг/м³) на расстоянии $У$ по перпендикуляру к оси факела выброса. Определить параметры X_m (расстояние, на котором достигается максимальная концентрация выбрасываемого вещества, м); X_{mi} (расстояние от источника выброса, на котором при скорости ветра U и неблагоприятных метеоусловиях достигается максимальная концентрация выбрасываемого вещества, м).

Решение

Так как источник выброса круглый, то диаметр устья $D = D_э$. Тогда параметр:

$$V_m = (1.3 \cdot W_0 \cdot D_э) / H$$

Согласно схеме вычислений (рисунок 1.1) находим безразмерный коэффициент n .

Найдём объём газовойоздушной смеси V_1 :

$$V_1 = \Pi \cdot D \cdot D \cdot W_0 / 4$$

Вычислим коэффициент K :

$$K = D / 8 / V_1$$

Тогда:

$$C_m = A' \cdot F \cdot n \cdot K / (H^4/3)$$

где F – безразмерный коэффициент, имеет следующее значение:

а) для газообразных вредных веществ (сернистый газ, сероуглерод и т.п.) и мелкодисперсных аэрозолей (пыль, зола и т.п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) – 1.

б) для пыли и золы, средний эксплуатационный коэффициент очистки которых равен 90% и более – 2, менее 90% – 2.5, менее 5% – 3.0. согласно схеме вычислений (см. рисунок 3.1), например, при $V_m < 0.5$ опасная скорость ветра $U_m = 0.5$ м/с. тогда $(U / U_m) > 1$. Следовательно, безразмерный коэффициент:

$$r = (3 \cdot U / U_m) / (2 \cdot (U / U_m)^2 - U / U_m + 2)$$

максимальная концентрация цементной пыли в воздухе при неблагоприятных метеоусловиях и скорости ветра, отличающейся от опасной:

$$C_{mu} = r \cdot C_m$$

С учётом V_m найдём безразмерную d :

$$d = 11.4 \cdot V_m$$

Определим расстояние X_m :

$$X_m = d \cdot H$$

Согласно схеме вычислений (см. рисунок), безразмерный коэффициент P равен:

$$P = 0.32 \cdot (U / U_m) + 0.68$$

Тогда:

$$X_{mu} = P \cdot X_m, X / X_m$$

Вычислим безразмерный коэффициент S_1 :

$$S_1 = X / X_m / (3.58(X / X_m)^2 - 35.2 \cdot X / X_m + 120)$$

Определим приземную концентрацию цементной пыли:

$$C = S_1 \cdot C_m$$

С учётом безразмерного коэффициента S_2 , равного:

$$S_2 = 1 / (1 + 8.4 \cdot U \cdot (Y / X)^2) / (1 + 2.82 \cdot U \cdot U \cdot (Y / X)^4)$$

Найдём C_y :

$$C_y = S_2 \cdot C$$

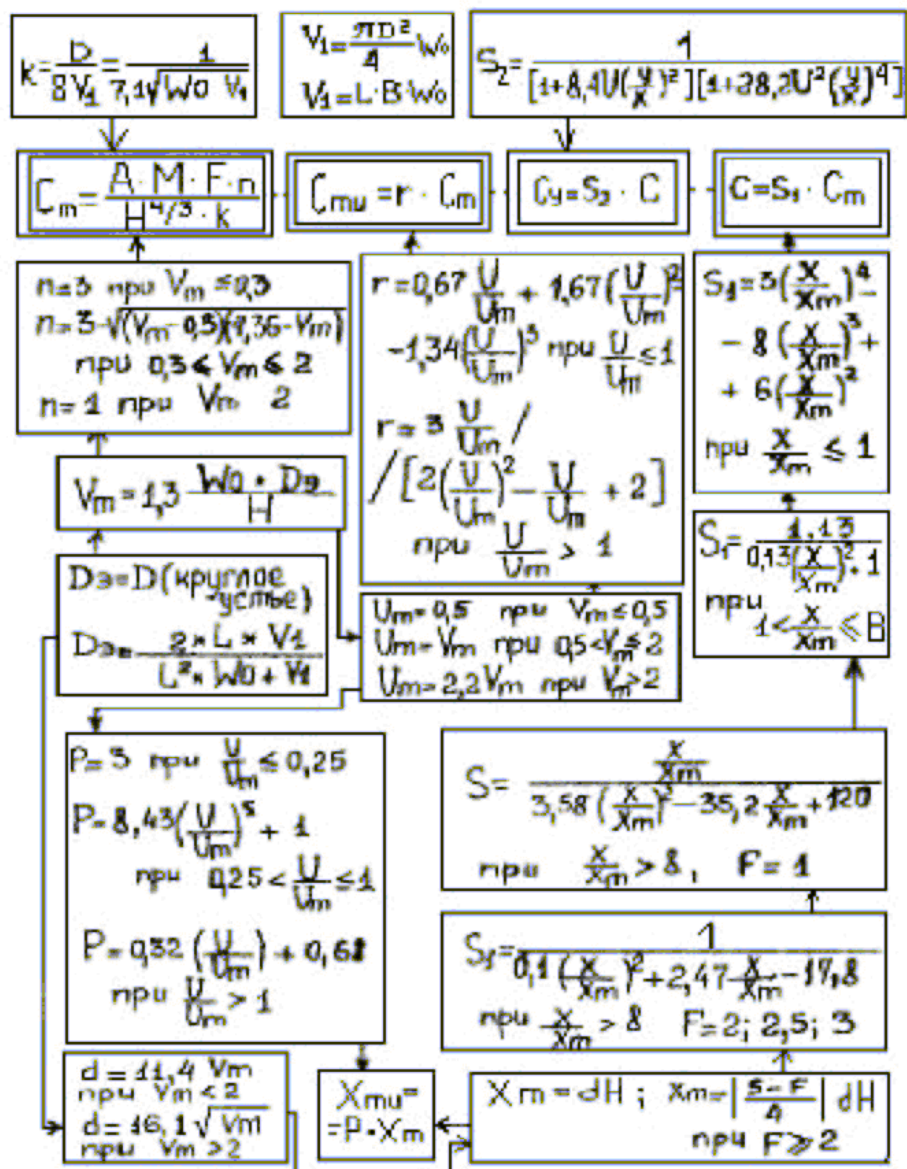


Рисунок 3.1 – Схема расчета рассеивания холодных выбросов из одиночного источника

Варианты индивидуальных данных к расчету студент выбирает по согласованию с преподавателем.

Таблица 3.1 – Варианты заданий

№ вар	$D=D_9$	мг·м ^{1/3} / г	W_0 , м/с	H , м	M , г/с
1	0.8	240	0.7	6	160
2	0.9	200	0.8	7	170
3	1.0	160	0.9	8	180
4	1.1	120	1.0	9	190
5	1.2	240	1.1	10	200
6	0.8	200	1.2	11	210
7	0.9	160	1.3	12	220
8	1.0	120	0.7	13	230
9	1.1	240	0.8	14	240
10	1.2	200	0.9	15	250
11	0.8	160	1.0	16	160
12	0.9	120	1.1	6	170
13	1.0	240	1.2	7	180
14	1.1	200	1.3	8	190
15	1.2	160	0.7	9	200
16	0.8	120	0.8	10	210
17	0.9	240	0.9	11	220
18	1.0	200	1.0	12	230
19	1.1	160	1.1	13	240
20	1.2	120	1.2	14	250
21	0.8	240	1.3	15	160
22	0.9	200	0.7	16	170
23	1.0	160	0.8	6	180
24	1.1	120	0.9	7	190
25	1.2	240	1.0	8	200
26	0.8	200	1.1	9	210

Вопросы к практическому занятию

1. Как скорость ветра влияет на концентрацию выбрасываемого вещества.
2. Определение объёма газовой-воздушной смеси.
3. Определение приземной концентрации цементной пыли.
4. Определение максимальной концентрации цементной пыли в воздухе при неблагоприятных метеорологических условиях и скорости ветра.

Практическое занятие № 4

Расчет установок искусственного освещения по методу удельной мощности

Цель работы: Изучить основные принципы нормирования, порядка расчета и определения качества искусственного освещения в производственных помещениях.

Теоретическая часть

Основная задача освещения – создание наилучших условий для зрительного восприятия информации.

Сохранность зрения человека, состояние его центральной нервной системы, его активность, общий тонус и настроение, его работоспособность и безопасность труда в значительной мере зависят от условий освещения. От освещения зависят также производительность труда и качество выпускаемой продукции. В связи с этим искусственное освещение является одним из важных элементов создания для человека оптимальных условий труда.

При создании установок внутреннего освещения возможно применение двух систем:

1) общего освещения (искусственное освещение помещения в целом и рабочих мест осуществляется только с помощью светильников, расположенных в верхней зоне помещения);

2) комбинированного освещения (когда не менее 10% нормируемой освещенности создается светильниками общего освещения, а остальная освещенность – светильниками местного освещения, располагаемых рядом или в непосредственной близости от рабочих мест и посылающих световой поток на рабочую поверхность, не освещая при этом прилегающие поверхности).

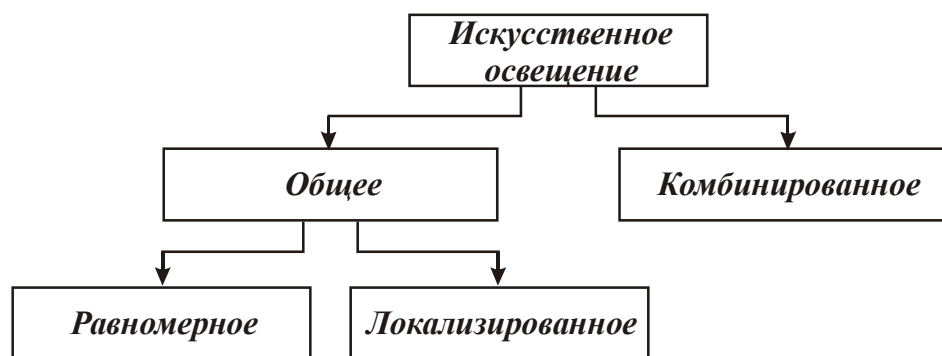


Рисунок 4.1 – Структура систем искусственного освещения в производственных помещениях.

Общее равномерное освещение – когда при равномерном распределении светового потока не учитывается расположение оборудования.

Общее локализованное освещение – когда при распределении светового потока учитывается расположение оборудования.

Применение одного местного освещения внутри производственных помещений не допускается.

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяется на следующие виды; рабочее, аварийное, охранное и дежурное.

Рабочее освещение - освещение, обеспечивающее нормируемые осветительные условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и в местах производства работ вне зданий.

Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное. Освещение безопасности – освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения.

Эвакуационное освещение – освещение для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении рабочего освещения.

Дежурное освещение - освещение в нерабочее время.

При проектировании систем освещения производственных помещений необходимо учитывать физиолого-гигиенические, светотехнические и технико-экономические факторы.

Физиолого – гигиенические факторы

Эффективность производственной деятельности человека зависит от состояния его зрительного анализатора, характеризуемого уровнями основных зрительных функций:

- контрастной чувствительностью, определяемой пороговым контрастом;
- остротой различения, определяемой пороговым угловым размером объекта;
- скоростью обнаружения и различения, определяемой необходимым для этого временем;
- цветовой чувствительностью, определяемой цветовым порогом и т. д.

Все перечисленные функции улучшаются с ростом освещенности, так как соответствующие пороги, имеющие большие значения при малой освещенности, резко уменьшаются с ее увеличением.

Зрительная работоспособность, являющаяся комплексной функцией и определяющая эффективность зрительной работы в целом, сильно зависит от яркости поля зрения (освещенности). При этом, чем меньше размер объекта различения (выше точность зрительной работы), тем ниже зрительная работоспособность. Обеспечение достаточного уровня зрительной работоспособности для работ наивысшей точности, особенно при малом контрасте и темном фоне (проверка и исправление печатных плат при производстве микропроцессоров), возможно лишь при значительном повышении яркости (примерно на два порядка).

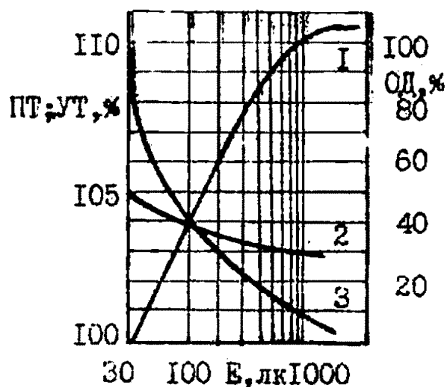


Рисунок 4.2 – Влияние освещенности на интегральные показатели работы.

Общая оценка эффективности освещения производственных помещений по интегральным показателям работы и качеству выпускаемой продукции представлена на рисунке 4.2. С увеличением освещенности E рабочего помещения от 30 до 1000 лк рост производительности труда ($ПТ$) составляет 10% (кривая 1), утомляемость ($УТ$) снижается приблизительно на 2% (кривая 2), в то время как количество допускаемых ошибок ($ОД$) при выполнении работы уменьшается более чем в 10 раз (кривая 3).

Однако следует помнить, что излишняя яркость может вызывать временное ослепление, резь в глазах и головную боль, т.е. может являться причиной потери трудоспособности.

Основные светотехнические характеристики искусственного освещения

Производственное искусственное освещение характеризуется определенными количественными и качественными показателями.

К количественным показателям освещения относятся:

- **световой поток** Φ , измеряемый в люменах ($лм$);
- **интенсивность или сила света**, измеряемая в канделах ($кд$);
- **освещенность** E , измеряемая в люксах ($лк$);
- **яркость** B , измеряемая в канделах, деленных на квадратный метр ($кд/м^2$).

Количественную оценку совершенства производственного освещения проводят по освещенности рабочей поверхности.

Освещенностью E называется отношение светового потока $\partial\Phi$, падающего на элемент поверхности, к площади этого элемента ∂S .

$$E = \frac{\partial\Phi}{\partial S}$$

Все источники света, в том числе и осветительные приборы, излучают световой поток в пространство неравномерно. Поэтому вводится величина плотности светового потока – сила света I .

Сила света I – отношение светового потока $d\Phi$, исходящего от источника и распространяющегося равномерно внутри телесного угла $d\Omega$, к величине этого угла.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$$

Яркостью B называется поверхностная плотность силы света в заданном направлении, равная отношению силы света к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к этому направлению:

$$B = \frac{dI}{dS \cdot \cos \varphi}$$

где dI – сила света элемента светящейся поверхности dS в направлении, составляющем угол φ с нормалью к этому элементу.

Яркость B является единственной светотехнической величиной, воспринимаемой органами зрения. Яркость рабочей поверхности нормируется. Ее величина зависит от площади S рабочей поверхности. Так при $S < 0,0001 \text{ м}^2$ $B < 2000 \text{ кд} / \text{м}^2$, а при $S > 0,1 \text{ м}^2$ $B < 500 \text{ кд} / \text{м}^2$.

Основными качественными показателями освещения являются:

– **контраст объекта с фоном**

$$K = |(B_0 - B_\phi) / B_\phi|$$

где B_ϕ – яркость фона (т.е. поверхности, прилегаемой к объекту);

B_0 – яркость объекта;

– **видимость V** – способность глаза воспринимать объект различения в зависимости от яркости объекта, его освещенности, размера объекта, контраста объекта с фоном, длительности экспозиции. Видимость определяется числом пороговых контрастов в контрасте объекта с фоном:

$$V = \frac{K}{K_{\text{пор}}}$$

где $K_{пор} \sim$ пороговый контраст, при уменьшении которого объект становится неразличимым;

– **показатель дискомфорта M** – критерий дискомфорта блескости, вызывающей неприятные ощущения при неравномерном распределении яркости в поле зрения (определяется по специальным таблицам в зависимости от типа светильника, соотношения размеров помещения и коэффициентов отражения его потолка и стен);

– **показатель ослепленности P** – критерий оценки слепящего действия осветительной установки:

$$P = \left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right) \cdot 10^3$$

где V_1 и V_2 – видимость объекта различения соответственно при экранировании и при наличии блестящих источников в поле зрения;

– **коэффициент пульсации $K_{п}$** – критерий оценки относительной глубины колебаний освещенности в результате изменения во времени светового потока газоразрядных ламп при питании переменным током:

$$K_{п} = 100 \cdot \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}}$$

где $E_{\max}$ и $E_{\min}$ – наибольшее и наименьшее значение освещенности за период колебаний.

Источники искусственного освещения и осветительные приборы

Отечественная светотехническая промышленность выпускает свыше 800 типоразмеров источников света. Для освещения производственных помещений следует использовать, как правило, наиболее экономичные разрядные лампы. Использование ламп накаливания для общего освещения допускается лишь в случае невозможности или нецелесообразности использования разрядных ламп. Для местного освещения кроме разрядных источников света следует использовать лампы накаливания, в том числе галогенные. Применение ксеноновых ламп внутри помещения не допускается.

Виды источников света: лампы накаливания нормальные; лампы накаливания с йодным циклом, галогенные (КИ); люминесцентные лампы; лампы ДРЛ (дуговые ртутные люминесцентные высокого давления); галогенные лампы ДРИ (дуговые ртутные с йодами); натриевые лампы ДНаТ (дуговые натриевые трубчатые); ксеноновые лампы ДКсТ (дуговые ксеноновые трубчатые).

Лампы накаливания не смотря на низкую светоотдачу и малый срок службы, но благодаря простоте обслуживания и малым затратам на изготовление составляют в суммарном световом потоке от всех видов применяемых ламп 30...40%.

Люминесцентные лампы представляют собой газоразрядные источники света низкого давления, в которых излучение ртутного разряда преобразуется люминофором в видимое излучение.

Ртутные газоразрядные лампы являются самыми распространенными и многочисленными источниками света среди газоразрядных ламп высокого давления. Применяют ртутные лампы для наружного освещения и освещения высоких цехов, не требующих высокого качества цветопередачи.

Натриевые и ксеноновые лампы применяются в основном для освещения больших открытых пространств, архитектурных сооружений и теплиц. Допускается применять натриевые лампы для освещения некоторых типов помещений с кратковременным пребыванием людей (вокзалы, аэропорты и т.п.).

Светильник – это световой прибор, представляющий собой совокупность источника света и осветительной арматуры.

Основные функции осветительной арматуры:

- перераспределение светового потока лампы внутри светильника, что повышает эффективность осветительной установки;

– предохранение глаз работающих от воздействия больших яркостей источника света.

Осветительная арматура служит также для подвода электрического питания, крепления и предохранения источника света от загрязнения и механического повреждения.

Ограничение слепящего действия источника света (лампы) определяется защитным углом α светильника (рисунок 1.3) – углом между горизонталью и линией, соединяющей нить накала (для ламп накаливания) или поверхность лампы (для люминесцентных ламп) с противоположным краем отражателя.

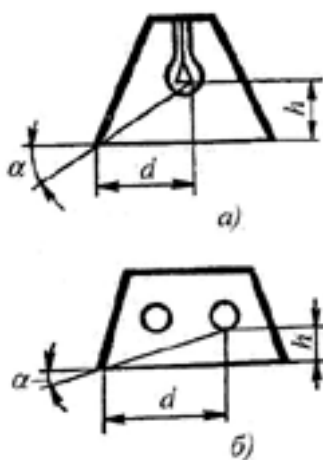


Рисунок 4.3 – Защитный угол светильника

a – с лампой накаливания; b – с люминесцентными лампами.

Экономичность светильника определяется его коэффициентом полезного действия (коэффициентом светоотдачи):

$$\eta_{CB} = \Phi_{CB} / \Phi_L$$

где Φ_{CB} – световой поток светильника, лм, Φ_L – световой поток открытой лампы, лм.

По характеру светораспределения различают светильники прямого, преимущественно прямого, отраженного, преимущественно отраженного и рассеянного света. Выбор тех или иных светильников зависит от характера выполняемых в помещении работ, возможности запыленности воздушной

среды, коэффициентов отражения окружающих поверхностей, эстетических требований.

В зависимости от конструктивного исполнения различают светильники открытые, защищенные, закрытые, пыленепроницаемые, влагозащитные, взрывозащищенные, взрывобезопасные.

По назначению светильники делятся на светильники общего и местного освещения.

Нормирование искусственного освещения

В действующих нормах проектирования производственных помещений СН и СП регламентируются как количественная (величина минимальной освещенности), так и качественные характеристики искусственного освещения (показатели ослепленности P и дискомфорта M , коэффициент пульсации $K_{пл}$ освещенности).

Принято раздельное нормирование освещенности в зависимости от применяемых источников света и системы освещения.

Величина минимальной освещенности устанавливается в зависимости от 3-х основных факторов:

- 1) характеристики зрительной работы (наименьший размер объекта различения);
- 2) контраста объекта с фоном;
- 3) характеристики фона.

Для ограничения слепящего действия светильников общего освещения показатель ослепленности P не должен превышать 20...40 единиц в зависимости от продолжительности и разряда зрительной работы.

При освещении производственных помещений газоразрядными лампами, питаемыми переменным током промышленной частоты 50 *Гц*, следует ограничить глубину пульсаций освещенности. Допустимые коэффициенты

пульсаций $K_{\text{П}}$ не должны превышать 10...20% в зависимости от системы освещения и характера выполняемой работы.

Наличие объектов повышенной яркости в поле зрения может вызвать неприятные ощущения зрительного дискомфорта. Дискомфорт является начальной стадией ослепленности и оценивается показателем дискомфорта.

Для газоразрядных ламп значения норм освещенности выше, чем для ламп накаливания, из-за большей светоотдачи этих ламп. Система комбинированного освещения как более эффективная имеет нормы освещенности выше, чем для общего освещения. Для исключения частой переадаптации зрения, из-за неравномерной освещенности в помещении при системе комбинированного освещения необходимо, чтобы светильники общего освещения создавали не менее 10% нормированной освещенности.

Расчет искусственного освещения

Задачей расчета является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания в производственном помещении заданной освещенности.

Для этого необходимо:

1. Выбрать тип источника света.

Как правило, применяют газоразрядные лампы, а там, где температура воздуха может быть меньше 5°C и для местного освещения следует предпочитать лампы накаливания.

2. Определить систему освещения.

Наиболее эффективна система комбинированного освещения, но в гигиеническом отношении система общего освещения более совершенна за счет равномерного распределения света. Можно добиться высоких уровней освещенности рабочих мест без значительных затрат, используя локализованное общее освещение. Местные светильники повышают освещенность, улучшают световой комфорт и т.п.

3. Выбрать тип светильника с учетом характеристик светораспределения

по экономическим показателям, условиям среды, а также с учетом требований взрыво-, пожаробезопасности.

4. Распределить светильники и определить их количество, располагая их рядами в шахматном порядке, ромбовидно. Обеспечение равномерного распределения освещенности достигается, если отношение расстояния между центрами светильников к высоте их подвеса над рабочей поверхностью составит 1,4 – 2.

5. Определить норму освещенности на рабочем месте.

Для этого следует установить:

- а) характер выполняемой работы по наименьшему размеру объекта различения;
- б) контраст объекта с фоном;
- в) фон на рабочем месте.

В соответствии с выбранной системой освещения и источником света найти минимальную нормируемую освещенность.

Методы расчета искусственного освещения

Задачей расчета является определение потребной мощности электрической осветительной установки для создания в помещении заданной освещенности. При этом предполагают заданными:

- форма и геометрические размеры помещения;
- отражательные способности внутренних поверхностей;
- разряд зрительных работ, проводимых в помещении;
- расположение и габариты оборудования.

Проектируя осветительную установку, решают ряд вопросов.

1 Выбирают тип источника света. Для освещения производственных помещений, как правило, применяют газоразрядные лампы, а для местного освещения следует отдавать предпочтение лампам накаливания.

2 Определяют систему освещения. Выбирая систему освещения, необходимо учитывать, что эффективнее система комбинированного

освещения, но в гигиеническом отношении система общего освещения более совершенна, так как создает равномерное распределение светового потока.

3 Выбирают тип светильников с учетом характеристик светораспределения, ограничения прямой блескости, по экономическим показателям, условиям среды, а также с учетом требований взрыво и пожаробезопасности.

4 Распределение светильников и определение их количества. Светильники могут располагаться рядами, в шахматном порядке, ромбовидно. Равномерное распределение освещенности достигается, если

$$L / H_p = 1,4 \dots 2,$$

где L – расстояние между центрами светильников, м; H_p – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

5 Определение нормы освещенности на рабочем месте. Для этого устанавливают характер выполняемой работы по наименьшему размеру объекта различения, контраст объекта с фоном и фон на рабочем месте.

Для расчета искусственного освещения используют в основном три метода: метод светового потока лампы, точечный метод и метод удельной мощности.

Метод удельной мощности является наиболее простым, но и наименее точным, поэтому его применяют только при ориентировочных расчетах. Метод позволяет определить мощность каждой лампы W_L в осветительной установке, необходимую для создания нормируемой освещенности:

$$W_L = w \cdot S / n,$$

где w – удельная мощность (отношение мощности осветительной установки к площади помещения), $Вт / м^2$ – выбирается по таблицам в зависимости от уровня освещенности, площади помещения, типа светильника и высоты его подвеса, типа и мощности ламп;

S – площадь помещения, м;

n – число ламп в осветительной установке.

Задача №1

Условие: Рассчитать общее освещение в ремонтной мастерской. Размеры цеха $16 \times 6.4 \times 4$ м. Коэффициенты отражения: стен $\rho_c = 0,3$, потолка $\rho_n = 0,5$, рабочей поверхности $\rho_p = 0,1$. Рассчитать общее освещение методом удельной мощности.

Решение:

По таблице [7] при $E_{min} = 50$ лк, $h = 2...3$ м и $s = 50...150$ м² находим удельную мощность $\omega = 10,6$ Вт/м².

Определяем расчетную мощность одной лампы

$$P_{\lambda} = \omega \cdot s / N = 10,6 \cdot 102,6 / 8 = 136 \text{ Вт. Принимаем лампу Б 220 – 235 – 150.}$$

Задача №2

Условие: Рассчитать общее равномерное освещение читального зала площадью S м² при нормированной освещенности E . По конструктивным особенностям зала намечено установить N светильников на высоте H_p (м) над расчётной поверхностью. Напряжение сети 220 / 127 В. Коэффициенты отражения $P_n / P_c / P_{стола}$.

Решение:

1. Установленная мощность ламп читального зала составит

$$P_y = P_{y\partial} \cdot S$$

где: P_y – установленная мощность

$P_{y\partial}$ – удельная мощность

S – площадь освещаемого помещения

2. Мощность одной лампы находится так

$$P_{\lambda} = P_y / n$$

P_{λ} – мощность одной лампы, Вт

n – число ламп, установленных в помещении.

По этому значению выбирается стандартная ближайшая лампа (таблица 3,6 [7]). При необходимости количество светильников можно

изменить. Варианты индивидуальных данных к расчету студент выбирает по согласованию с преподавателем.

Задача №3

Условие: Для получения нормированной горизонтальной освещенности $E_{\text{норм}}$ (лк) городской площади на здании на высоте h (м) устанавливается группа прожекторов на напряжение 220 В. Определить наивыгоднейший угол наклона прожекторов.

Варианты индивидуальных данных к расчету студент выбирает по согласованию с преподавателем.

Таблица 4.1 – Исходные данные:

Вариант	E лк	$P_{\text{уд}}$	S м ²	N	H_p	$\rho_n/\rho_c/\rho_s$
1	300	22	300	20	2,5	70/50/10
2	200	16	300	20	3	
3	250	20	300	20	3,5	
4	350	25	300	20	3,7	
5	300	22	300	20	4,2	
6	200	16	300	20	2,5	
7	250	20	300	20	3	70/50/10
8	350	25	150	10	3,5	
9	300	22	150	10	3,7	
10	200	16	150	10	4,2	
11	250	20	150	10	2,5	
12	350	25	150	10	3	
13	300	22	150	10	3,5	
14	200	16	150	10	3,7	
15	250	20	450	35	4,2	
16	350	25	450	35	2,5	
17	300	22	450	35	3	
18	200	16	450	35	3,5	
19	250	20	450	35	3,7	
20	350	25	450	35	4,2	
21	350	16	300	35	2,5	
22	250	25	450	20	3,7	
23	200	20	150	10	3	
24	300	22	300	35	2,5	
25	250	16	450	20	4,2	

Таблица 4.2 – Исходные данные:

Вариант	$E_{\text{норм}}$	h	k_z	Тип прожектора	Мощность лампы
1	0,2	13	0,8	ПЗС-35	500
2	0,6	13,5	1	ПЗС-35	500
3	0,4	7	0,9	ПЗС-45	1000
4	0,8	10	1,1	ПЗС-45	1000
5	1	15	1,2	ПЗС-35	500
6	3	17	1,4	ПЗС-35	500
7	2	15	1,3	ПЗС-45	1000
8	4	21	1,5	ПЗС-45	1000
9	6	25	1,4	ПЗС-45	1000
10	5	19	1,5	ПЗС-35	500
11	0,2	21	1,3	ПЗС-35	500
12	0,4	13	1,2	ПЗС-45	1000
13	0,6	23	1,1	ПЗС-35	500
14	1	25	0,9	ПЗС-35	500
15	0,8	19	1	ПЗС-45	1000
16	2	23	0,8	ПЗС-45	1000
17	3	27	0,85	ПЗС-35	500
18	4	27	1,35	ПЗС-45	1000
19	5	13	0,8	ПЗС-35	500
20	6	7	0,9	ПЗС-45	1000
21	6	17	1	ПЗС-35	500
22	5	21	1,1	ПЗС-45	1000
23	4	28	0,8	ПЗС-35	500
24	0,4	15	1,4	ПЗС-35	500
25	3	25	1,5	ПЗС-45	1000

Примечание: Горизонтальная освещенность для нечетных вариантов, для четных вариантов вертикальная освещенность.

Решение:

$$E_{\text{расч}} = K_{\text{зап}} \cdot E_{\text{норм}} / 2$$

Наивыгоднейший угол может быть определен по кривым на рисунке 4.7, построенным в функции от произведения расчетной освещенности на квадрат высоты установки прожектора $E_{\text{расч}} H^2$.

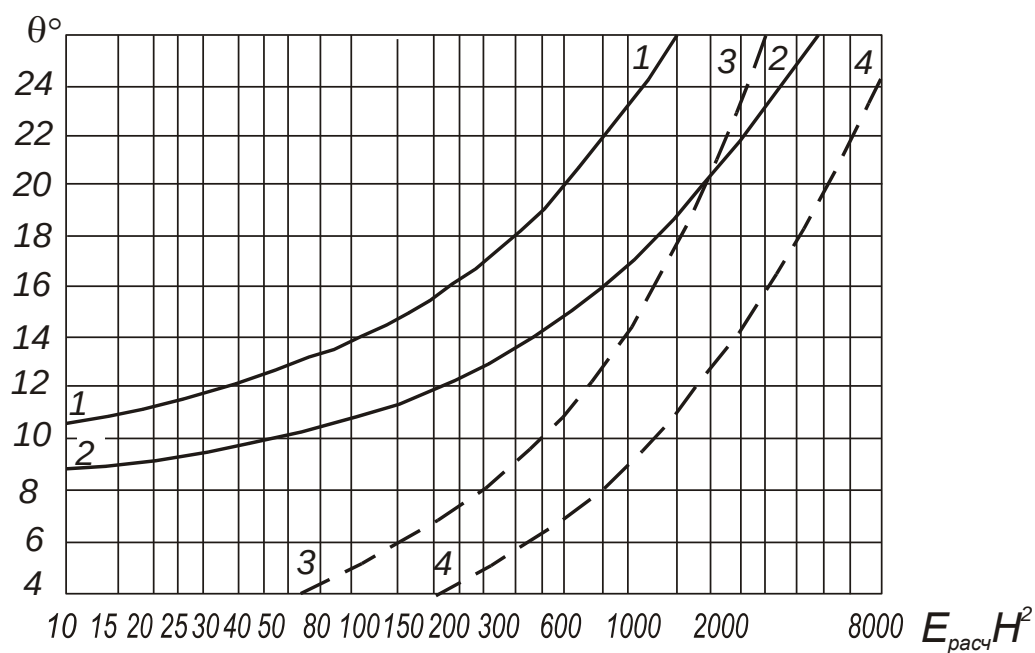


Рисунок 4.7 – График для определения наивыгоднейшего угла наклона прожектора $\theta_{наив.}$

- 1 – ПЗС-35 – горизонтальная освещенность;
- 2 – ПЗС-45 – горизонтальная освещенность;
- 3 – ПЗС-35 – вертикальная освещенность;
- 4 – ПЗС-45 – вертикальная освещенность.

Вопросы к практическому занятию

1. Методы расчета искусственного освещения
2. Расчет освещенности по методу удельной мощности
3. Нормы освещенности на рабочем месте
4. Выбор типа источника света
5. Выбор типа светильника
6. Характеристики ламп накаливания

Практическое занятие № 5

Расчет установок искусственного освещения по методу светящейся линии

Цель работы и теоретическую часть занятия смотри в практическом занятии № 4.

Излучатели, длина которых превышает половину расчетной высоты h , рассматриваются как светящиеся линии. Характеристиками светящихся линий являются продольная и поперечная кривые силы света элементов, образующих линию, и линейная плотность светового потока ламп Φ' . Поперечная кривая задается каталожными данными.

Продольная кривая часто характеризуется параметром m . Для светильников с рассеивателями приближенно можно считать m равным 1,25, а для светильников с экранирующими решетками, создающими в продольной плоскости защитные углы $15 - 30 - 45^\circ$, m равным 1,5 – 2,0 – 3,0 соответственно. Плотность потока определяется делением суммарного потока ламп в линии Φ на ее длину L , причем линии с равномерно распределенными по их длине разрывами X рассматриваются при расчете как непрерывные, если $X < 0,5 h$, и под L понимается габаритная длина линии. Для протяженных линий с такими же разрывами можно считать:

$$\phi' = \frac{\Phi'}{1 + X},$$

где ϕ' – поток ламп в сплошном элементе длиной l .

При $X > 0,5 h$ для каждого сплошного участка линии отдельно определяется Φ и создаваемая этим участком освещенность. Расчетные графики и таблицы позволяют определить относительную освещенность E (т.е освещенность при $\Phi' = 1000$ лм/м и $h = 1$ м), причем непосредственно определяется освещенность точек, лежащих против конца линии. Освещенность других точек определяется путем деления линии на части или дополнения их воображаемыми отрезками, освещенность от которых затем вычитается.

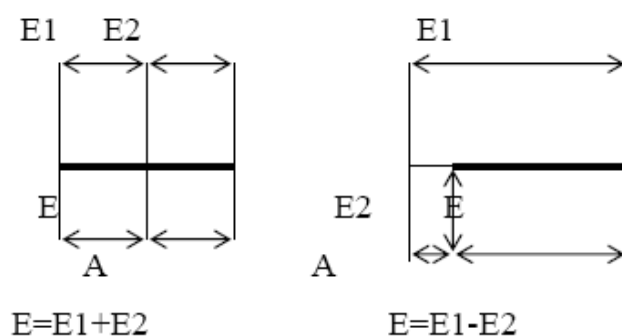


Рисунок 5.1 – Освещённость точек, не лежащих против конца линии

При общем равномерном освещении контрольные точки, как правило, выбираются посередине между рядами светильников. При большой длине рядов (начиная примерно от $2 \cdot h$) сильно сказывается уменьшение освещенности у их концов (вдвое по сравнению с освещенностью центральных участков при рядах неограниченной длины).

Для компенсации этого достаточно продлить линию на $0,5 \cdot h$ за пределы освещаемой поверхности. При принятии этой меры, контрольная точка может выбираться против середины рядов.

При общем освещении больших помещений часто указанной компенсации не предусматривается в предположении, что непосредственно у торцовых стен работ не производится, ряды доводятся до торцовых стен и контрольная точка выбирается на расстоянии примерно h от последних.

Для определения E наиболее удобны графики линейных изолукс. При пользовании ими по плану обмеряются размеры C и L (рисунок 5.2), находятся отношения $p' = p : h$ и $L' = L : h$ и для точки с координатами p' и L' определяется E .

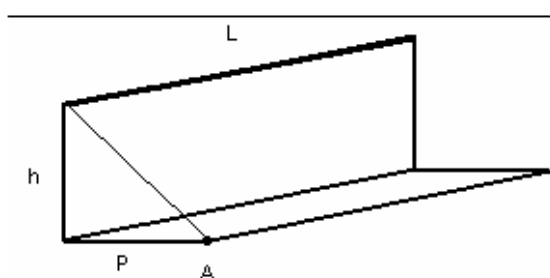


Рисунок 5.2 – Размеры, определяющие положение линии по отношению к контрольной точке

Линии, для которых $L' > 4$, при расчетах практически могут рассматриваться как неограниченно длинные. Суммирование значений E от ближайших рядов или их частей, освещающих точку, дает E , коэффициент m принимается, как и выше, и находится необходимая линейная плотность потока:

$$\Phi' = \frac{1000 \cdot E \cdot k \cdot h}{m \cdot \sum \varepsilon},$$

на основании чего осуществляется компоновка линий.

Для компоновки линий применяются два практических приема:

1 Находится общий необходимый поток ламп в линии, как Φ/L ; после этого компоновка линии производится так же, как рассмотрено в методе коэффициента использования.

2 Если линия достаточно длинна и правомерно пользование формулой, то, придавая Φ возможные значения, находим:

$$1 + X = \frac{\Phi}{\Phi''}$$

и, понимая здесь под L длину светильника, выбираем подходящий вариант.

При отсутствии для данного светильника линейных изолюкс (но при известном, конечно, светораспределении светильника) возможно определение E по данным, для усредненного значения $m = 1,5$.

В этом случае, определив, как обычно, p' и L' , находим $f(p', L')$ и a ; зная a , находим I_a и определяем $E = f(p', L') I_a$.

Задача 1

Необходимо рассчитать осветительную установку, показанную на рисунке 5.3, на наименьшую заданную освещенность при $K=1,5$. Данные для расчета выбираются по таблице 5.1 по варианту. Расстояние от крайнего ряда светильников до стены принимаем $0,3 : 0,4$ от расстояния между рядами светильников.

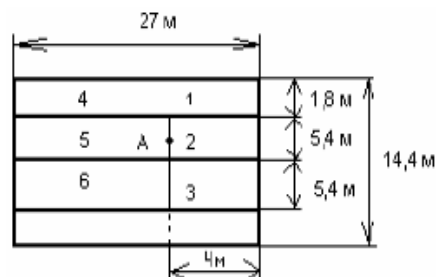
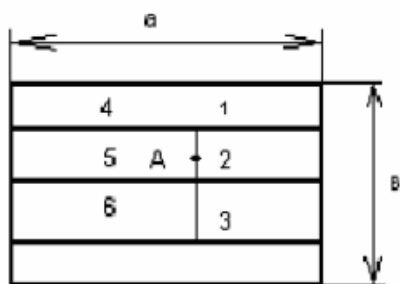


Рисунок 5.1 а – Осветительная установка Рисунок 5.2 б – Для задачи 1

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчёта

№ вар.	E лк	h м	A м	B м	Группа светильников
1	300	3	20	10	Группа 1
2	250	4	22	11	Группа 2
3	150	2,5	17	9	ЛОУ1ПЗ – 2·40 / 1001
4	200	5	23	13	Группа 3
5	150	6	24	14	Группа 4
6	250	2,5	15	8	ЛОУ1ПЗ – 2·40 / 1001
7	300	3	19	11	ПВЛМ
8	200	4	18	10	ПВЛМ – Р
9	400	3	20	9	Группа 5
10	300	4	23	13	Группа 6
11	250	5	25	12	Группа 7
12	100	3	18	11	ШОД
13	200	6	22	12	Группа 11
14	150	3	19	12	Группа 14
15	300	4	22	12	Группа 16
16	100	5	21	14	Группа 22
17	250	3	18	9	УВЛН6
18	100	4	15	8	УВЛН6
19	200	6	25	13	Группа 23
20	150	3	21	10	Группа 24
21	300	4	17	9	Группа 25
22	250	5	18	10	Группа 1
23	300	6	26	15	Группа 2
24	150	3	19	10	Группа 3
25	200	4	18	11	Группа 4
26	300	5	22	9	Группа 5
27	400	6	24	13	Группа 6
28	200	3	20	11	Группа 7

Продолжение таблицы 5.1

29	250	4	21	10	Группа 11
30	300	5	22	12	Группа 14
31	150	6	20	11	Группа 16
32	100	3	19	9	Группа 22
33	300	4	16	8	Группа 23
34	200	5	23	10	Группа 24
35	150	6	27	17	Группа 25

Варианты индивидуальных данных к расчету студент выбирает по согласованию с преподавателем.

Решение

Необходимо рассчитать осветительную установку, показанную на рисунке 5.1 на наименьшую $E = 300$ лк при $K=1,5$, светильники ЛДР с лампами ЛБ, $h = 4$ м, длина помещения $A = 27$ м, ширина помещения $B = 14,4$ м.

Точка A освещается шестью «полурядами», отмеченными цифрами от 1 до 6. Значения p , L , p' , L' и определенные по рисунку 6-40 / 7 / величины E указаны ниже.

Полуряд	p				
1 и 2		4	0,67	1	2·87
3		4	2,0	1	7
4 и 5		23	0,67		2·115
6		23	2,0		14
					Сумма $E = 425$

Применяя $m = 1,1$, находим

$$M = \frac{1000 \cdot 300 \cdot 1,5 \cdot 4}{1,1 \cdot 425} = 3850 \text{ лм/м}$$

В каждом ряду полный поток ламп должен составить $3850 \cdot 27 = 104000$ лм, что соответствует $104000 : (2 \cdot 2850) = 18$ светильников 2·40 Вт, которые хорошо вписываются в ряд, заполняя его почти без разрывов (при

лампах большей мощности ряд имел бы разрывы).

Вопросы к практическому занятию

1. Как влияет освещенность на работоспособность человека?
2. Каковы виды естественного и искусственного освещения?
3. Какими нормами и исходя из чего нормируется естественное и искусственное освещение?
4. Какие методы существуют для расчета искусственного освещения?
5. Каковы преимущества и недостатки ламп накаливания и люминесцентных?
6. По каким соображениям выбирают светильники для искусственного освещения?
7. Какие требования предъявляются к аварийному освещению?
8. Как контролируют освещенность рабочих мест?

Практическое занятие № 6

Расчет установок искусственного освещения по методу коэффициента использования

Цель работы и теоретическую часть занятия смотри практическое занятие №4.

Метод светового потока, именуемый иногда методом коэффициента использования, обычно используют только для определения общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности, так как при расчете данным методом оценка минимальной освещенности без конкретизации точек с такой освещенностью весьма приближительна.

Задача 1

Помещение имеет следующие параметры: длина A (м), ширина B (м), площадь пола S (м²), высота H (м). Коэффициенты отражения стен ρ_c (%) и потолка ρ_n (%). Высота рабочего места h_c , расстояние от потолка до нижней кромки светильника h_l . Нормативная освещённость, которая зависит от вида работ, E_n (лк). Коэффициент Z , представляющий собой отношение средней освещённости к минимальной, для ламп накаливания равен 1.15, для люминесцентных ламп – 1.1.

Определить расположение и число (N) светильников, мощность ламп накаливания.

Решение

Найдём расчётную высоту подвеса светильников h :

$$h = H - h_c - h_l$$

Определим индекс помещения i :

$$i = S / (h \cdot (A + B))$$

где: S – площадь пола (м²)

Согласно схеме вычислений (рисунок 6.1), с учётом значений i , ρ_c , ρ_n коэффициент использования светового потока N_1 .

Определим расстояния между светильниками:

$$L = a \cdot h$$

Вычислим расстояние от стены до светильника:

$$l = L/3$$

Найдём число светильников $N = f(L, l, s)$, используя схему, приведённую на рисунке 6.1:

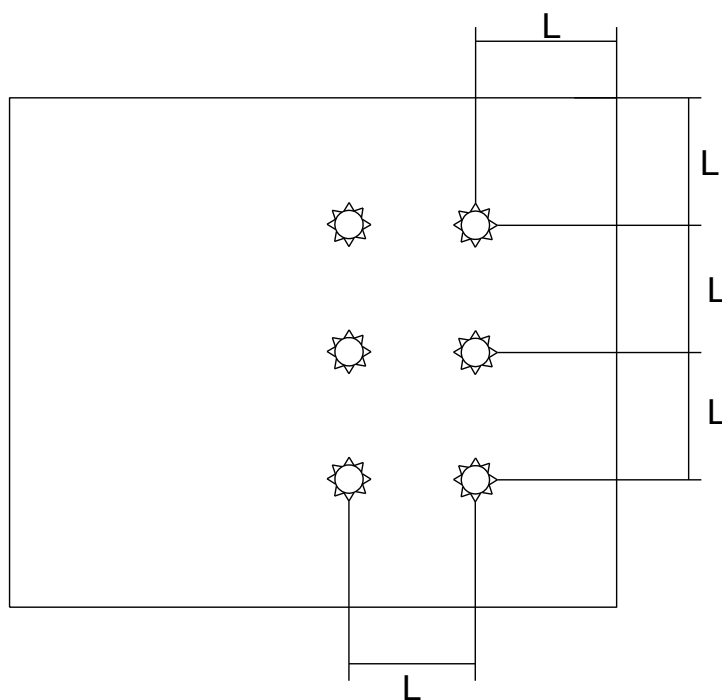


Рисунок 6.1 – Схема расположения светильников

Рассчитаем световой поток лампы F :

$$F = E_n \cdot K \cdot Z / N_1 / N$$

Установим мощность лампы по таблице 6.3.

Варианты индивидуальных данных к расчету студент выбирает по согласованию с преподавателем.

Тип светильника:

1 – 4 глубокоизлучатель, эмалированный

4 – 6 универсаль без затемнителя

7 – 9 универсаль с затемнителем

10 – 12 зазеркальная лампа

13 – 17 люцетта цельного стекла

18 –20 универсаль с затемнителем

21 – 23 зеркальная лампа; 24 –26 универсаль без затемнителя

Таблица 6.1 – Варианты заданий

N вар	A , м	B , м	H , м	P_c , %	P_n , %	h_c , м	h_l , м	E_n , лк	K
1	10	6	2.5	10	30	0.6	0.2	100	1.3
2	10	8	2.5	30	50	0.65	0.25	150	1.5
3	12	10	2.5	50	70	0.7	0.3	200	1.3
4	12	8	2.5	10	30	0.75	0.35	300	1.5
5	12	6	2.5	30	50	0.8	0.40	300	1.3
6	14	6	2.5	50	70	0.85	45	200	1.5
7	14	8	2.6	10	30	0.9	0.5	150	1.3
8	14	10	2.6	30	50	0.95	0.55	100	1.5
9	14	12	2.6	50	70	1.0	0.6	100	1.3
10	16	8	2.6	10	30	0.95	0.6	150	1.5
11	16	10	2.7	30	50	0.9	0.55	200	1.3
12	16	6	2.7	50	70	0.85	0.5	300	1.5
13	16	12	2.7	30	30	0.8	0.45	300	1.3
14	16	14	2.7	30	50	0.75	0.4	200	1.5
15	18	8	2.7	50	50	0.7	0.35	150	1.3
16	18	12	2.8	50	70	0.65	0.3	100	1.5
17	18	14	2.8	70	70	0.6	0.25	100	1.3
18	18	10	2.8	10	30	0.65	0.2	150	1.5
19	18	16	2.8	30	50	0.7	0.25	200	1.3
20	20	8	2.8	50	70	0.75	0.3	300	1.5
21	20	12	2.9	10	30	0.8	0.35	300	1.3
22	20	10	2.9	30	50	0.85	0.4	200	1.5
23	20	14	2.9	50	70	0.9	0.45	150	1.3
24	20	16	2.9	10	30	0.94	0.5	100	1.5
25	22	18	2.9	30	50	1.0	0.55	150	1.3
26	22	10	3.0	50	70	0.95	0.6	200	1.5

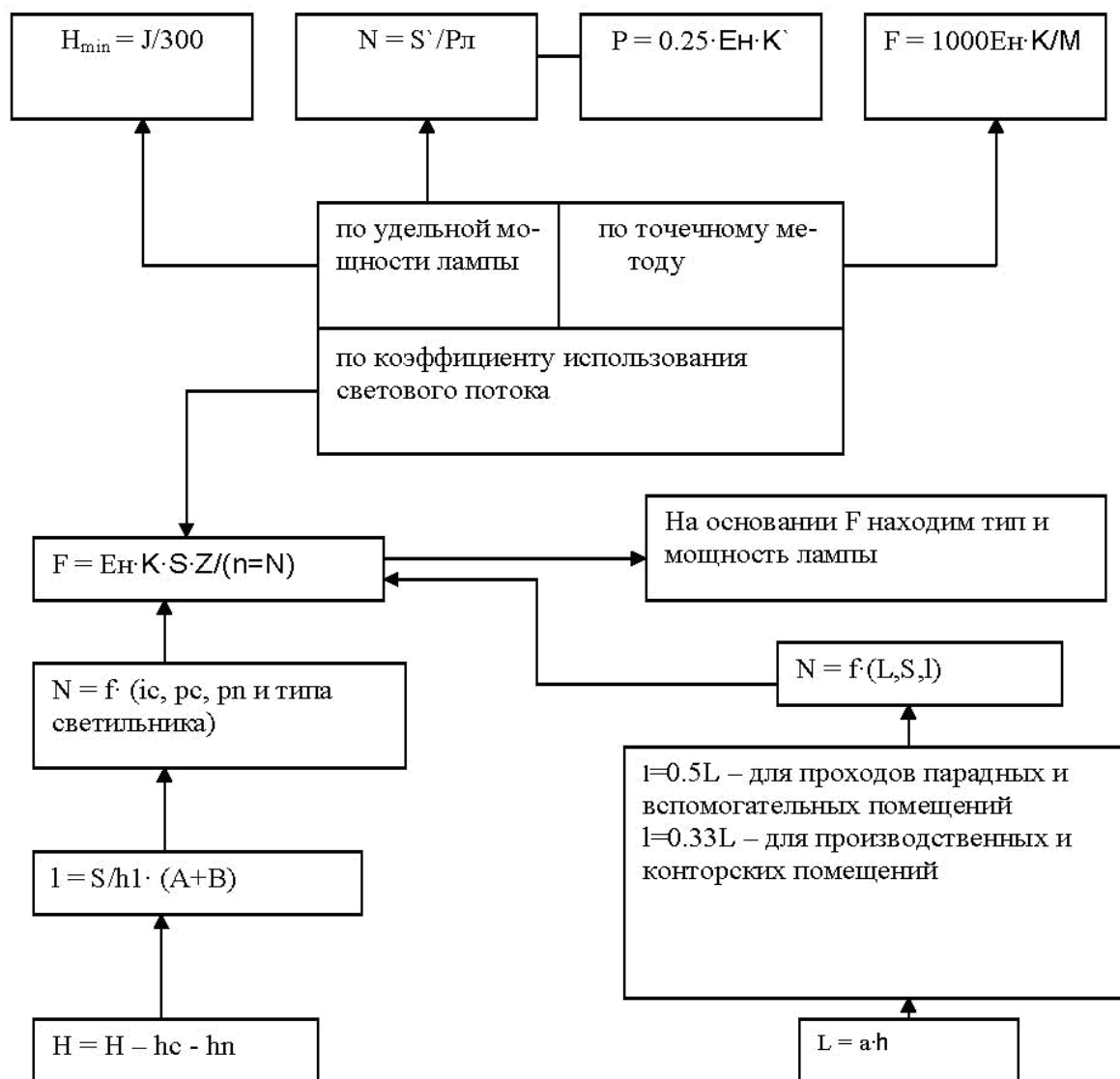


Рисунок 6.2 – Схема расчета искусственного освещения

Таблица 6.2 – Коэффициенты использования светового потока

	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	50	70	70
	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	30	30	50	50	70
<i>i</i> – коэффициент использования N_1 (%)																	
0.5	19	21	25	21	24	28	14	17	21	21	30	35	14	16	20	22	29
0.6	24	27	31	27	30	34	19	22	26	26	37	42	19	21	25	27	33
0.7	29	31	34	32	35	38	23	26	29	29	43	48	23	24	29	30	38
0.8	32	34	37	35	38	41	26	28	32	32	47	52	25	26	31	33	41
0.9	34	36	39	38	40	44	28	30	34	34	50	54	27	29	33	35	43
1.0	36	38	40	40	42	45	30	32	35	35	53	56	29	31	34	37	44
1.1	37	39	41	42	44	46	31	33	36	36	54	58	30	32	36	38	46
1.25	39	41	43	44	46	48	33	35	37	37	57	60	31	34	38	41	48
1.5	41	43	46	46	48	51	35	36	40	40	59	64	34	37	41	44	51

1.75	43	44	48	48	50	53	37	39	41	41	62	66	36	39	43	46	53
2.0	44	46	49	50	52	55	39	40	43	43	65	68	38	41	45	48	55
2.25	46	48	51	52	54	56	40	42	45	45	67	71	40	43	47	50	57
2.5	48	49	52	54	55	59	42	44	46	46	69	73	41	45	48	52	58
3.0	49	51	53	55	57	60	43	45	47	47	70	75	44	47	51	54	60
3.5	50	52	54	56	58	61	44	46	48	48	72	76	45	49	52	57	63
4.0	51	52	55	57	59	62	45	47	49	49	73	77	46	50	54	59	64
5.0	52	54	57	58	60	63	46	48	51	51	75	79	48	52	56	61	65

Таблица 6.3 – Коэффициент запаса К

Характеристика объекта	При лампах накаливания	При люминесцентных лампах
Помещение с большим выделением пыли и копоти	1.7	2.0
Помещение со средним выделением пыли и копоти	1.5	1.8
Наружное освещение светильников	1.3	1.5
Помещение с малым выделением пыли	1.3	1.5
Прожекторное освещение	1.5	-

Таблица 6.4 – Лампы накаливания нормальные

Тип лампы		Мощность, Вт	Световой поток, лк	
127 В	220 В		127 В	220 В
НВ – 40	–	10	80	–
НВ – 10	НВ – 23	15	135	105
НВ – 11	НВ – 24	25	260	220
НВ – 12	НВ – 25	40	490	400
НГ – 21	НГ – 27	60	820	715
НГ – 23	НГ – 48	100	1630	1450
НГ – 24	НГ – 49	150	2300	2000
НГ – 25	НГ – 50	200	3200	2800
НГ – 26	НГ – 51	300	4950	4600
НГ – 28	НГ – 53	500	9100	8300
НГ – 29	НГ – 54	750	14250	13100
НГ – 30	НГ – 55	1000	19500	18600

Примечание: НВ – вакуумные лампы; НГ – газонаполненные лампы

Вопросы к практическому занятию

1. Расчет освещенности по методу коэффициента использования.
2. Виды источников света. Защитный угол светильника
3. Классификация светильников по характеру светораспределения.
4. Классификация светильников по конструктивному исполнению.
5. Классификация светильников по назначению.
6. Устройство газоразрядных ламп.
7. Нормирование освещенности на рабочих местах.
8. Классификация искусственного освещения по функциональному назначению.
9. Основные светотехнические характеристики искусственного освещения.
10. Источники искусственного освещения и осветительные приборы.
11. Нормирование искусственного освещения

Практическое занятие № 7
Расчет установок искусственного освещения
по точечному методу

Цель работы и теоретическую часть занятия смотри в практическом занятии № 4.

Точечный метод применяют в основном для расчета локализованного и комбинированного освещения, освещения наклонных и вертикальных плоскостей. На практике точечный метод расчета применяют при проектировании общего равномерного освещения помещений, если требуется оценить освещенность в конкретных точках.

Особое значение имеет расчет по точечному методу при светильниках концентрированного светораспределения, так как в этом случае даже незначительное изменение расположения светильников может привести к резкому снижению освещенности на отдельных участках, обнаружить которое на стадии проектирования можно только расчетами по точечному методу.

Расчет освещенности в заданной точке от точечного источника света на плоскости, произвольно ориентируемой в пространстве, осуществляется по выражению

$$E = \frac{I_a \cdot \cos^2 \alpha}{H_p^2 \cdot k} \cdot \left(\cos \theta + \sin \frac{P}{H_p} \cdot \sin \theta \right)$$

где I_a – сила света по направлению к расчетной точке, кд ;

α – угол между нормалью рабочей поверхности и направлением светового потока от источника света, град;

H_p – высота подвеса светильника над горизонтальной плоскостью, проходящей через расчетную точку, м ;

k – коэффициент запаса лампы;

P – кратчайшее расстояние от проекции оси симметрии светильника на горизонтальную плоскость до следа пересечения последней с расчетной плоскостью, м ;

θ – угол наклона расчетной плоскости к горизонту, *град.*

В случае определения освещенности в горизонтальной и вертикальной плоскостях выражение примет вид:

для горизонтальной плоскости

$$E = \frac{I_a \cdot \cos^3 \alpha}{H_p^2 \cdot k}$$

для вертикальной плоскости

$$E = \frac{I_a \cdot \cos^3 \alpha}{H_p \cdot k}$$

Данные о распределении силы света приводятся в светотехнических справочниках.

При необходимости расчета освещенности в точке, создаваемой несколькими светильниками, подсчитывают освещенность от каждого из них, а затем полученные значения складывают.

Задача 1

Определить точечным методом мощность ламп накаливания в производственном помещении с малым выделением копоти и дыма ($k = 1,3$). Нормированная освещенность $E_{min} = 80$ лк. Для монтажа выбираем светильники типа «Астра-12» с высотой подвеса над освещаемой (рабочей) поверхностью 2,5 м. Расположение светильников и расстояние d от проекции каждого светильника на освещаемую поверхность до расчетной точки A (точки минимальной освещенности) по масштабному обмеру указаны на рисунке 7.1.

Решение. Определяем по графику пространственных изолюкс освещенность e в расчетной точке A от ближайших светильников и сводим расчеты в таблицу 7.1

Светильники 4, 8 и 12 в расчет не принимаем, так как они на освещенность точки A практически не влияют.

Определяем световой поток Φ , необходимый для получения нормированной освещенности 80 лк,

$$\Phi = 1000 E_{min} k / (k \Sigma e) = 1000 \cdot 80 \cdot 1,3 / (1,1 \cdot 34,11) = 2770 \text{ лм.}$$

Таблица 7.1 – Расчетная таблица

Номер светильника	Расстояние от точки А до проекции светильника на освещаемую поверхность, м	Условная освещенность от одного светильника, лк
1	6,0	1,0
2	7,2	0,55
3	10,0	0,16
5; 9	2,0	2х13,5
6	4,8	1,9
7; 11	8,0	2х0,4
10	4,4	2,7
		$\Sigma l = 34,11 \text{ лк}$

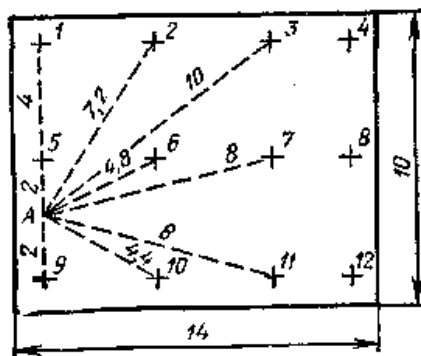


Рисунок 7.1 – Расчет освещения точечным методом

Выбираем по каталогу ближайшую по световому потоку лампу Г220-200 мощностью 200 Вт, световой поток которой $\Phi_{л} = 2800 \text{ лм}$. Фактическая освещенность в точке А

$$E_{\phi} = \Phi_{л} \cdot \mu \cdot \Sigma e / (1000 \cdot k) = 2800 \cdot 1,1 \cdot 34,11 / (1000 \cdot 1,3) = 81 \text{ лк.}$$

$$E_{\phi} \% = E_{\phi} 100 / E_{min} = 81 \cdot 100 / 80 = 101,5\% .$$

Задача 2

Выбрать люминесцентные светильники и определить их число для освещения животноводческого помещения размером 46·15 м, для которого нормированная освещённость $E_{min} = 100 \text{ лк}$.

Решение: принимаем к монтажу светильники ПВЛМ 2×40 с двумя люминесцентными лампами ЛБР – 40 мощностью по 40 Вт и световым потоком 2480 лм. Длина светильника $l_{св} = 1325$ мм. Светильники располагаем в три ряда с длиной каждого ряда $L = 42$ м и расстояние между соседними рядами 5 м. Расстояние крайних рядов до стены 2,5 м. Высота подвеса $h = 3$ м.

Расчет освещения ведем по точке, находящейся в конце светящегося ряда на расстоянии 0,5 м от стены (2 м от крайнего ряда).

Определяем p' и L' для каждого ряда

$$L_1 = L_2^1 = L_3^1 = \frac{L}{h} = \frac{42}{3} = 14$$

$$p^1 = \frac{p^1}{h} = \frac{2}{3} = 0,67 \quad p_2^* = \frac{p_2}{h} = \frac{7}{3} = 2,33$$

$$p_3' = \frac{p_3}{h} = \frac{12}{3} = 4$$

По значениям p' и L' на графике линейных изолукс для светильника ПВЛМ 2 х 40 определяем освещенность в расчетной точке от каждого ряда:

$$\varepsilon_1 = 88 \text{ лк}; \varepsilon_2 = 8,5 \text{ лк}; \varepsilon_3 = 4,5$$

$$\sum \varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 88 + 8,5 + 4,5 = 101 \text{ лк}$$

Принимаем $k=1.5$ и $\mu = 1,1$ и определяем расчетную плотность светового потока

$$\Phi^1 = \frac{1000 \cdot E \cdot k \cdot h}{\mu \cdot \sum \varepsilon} = \frac{1000 \cdot 100 \cdot 1,5 \cdot 3}{1,1 \cdot 101} = 4030 \text{ лм/м}$$

Расчетный световой поток ряда

$$\Phi = \Phi^1 \cdot L = 4030 \cdot 42 = 169000 \text{ лм}$$

Тогда число светильников в ряду

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{л} \cdot n} = \frac{169000}{2480 \cdot 2} = 34$$

Суммарная длина светильников в ряду

$$L_{с\sum} = 34 \cdot 1,325 = 45 \text{ м.}$$

Светильники монтируем без разрывов (встык). Расстояния от концов светящихся линий до торцовых стен 0,5 м.

Установленная мощность освещения помещения

$$P_{уст} = N \cdot n_p \cdot n \cdot P_l = 34 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 40 = 8160 \text{ Вт}$$

Задача 3

В помещении площадью $A \cdot B$, при высоте подвеса над рабочей поверхностью H_p , установлено n светильников ШОД с лампами ЛБ 2×40 Вт. Требуется определить дополнительную освещённость за счет отражённого света. Принимаем: ρ_n – коэффициент отражения потолка = 70%; ρ_c – коэффициент отражения стен = 50%; ρ_p – коэффициент отражения рабочей поверхности (стола) = 10%; k – коэффициент запаса = 1,5.

Решение

Зависимость коэффициента использования от геометрических размеров помещения учитывается показателем помещения i . Для прямоугольных помещений i выражается эмпирической формулой:

$$i = (A \cdot B) / (H_p \cdot (A + B))$$

Находим коэффициент использования (u) по таблице 1.2, соответствующий показателю помещения I , и коэффициентам ρ_n , ρ_c , ρ_p и ($u_{p=0}$)
Примечание: u а также $u_{p=0}$ подставляются в формулы в относительных единицах.

Коэффициент использования отражённых потоков:

$$u_{отр} = u - u_{p=0}$$

Определяем отражённую составляющую освещённости

$$E_{отр} = (n \cdot F_l (u - u_{p=0})) / (k \cdot S)$$

В каждом светильнике ШОД две лампы по 40 Вт.

Варианты индивидуальных данных к расчету студент выбирает по согласованию с преподавателем.

Таблица 7.2 – Исходные данные

Вариант	$A \cdot B$, м	Кол-во светильников	H_p , м
1	12×6	8	2,0
2	14×6	14	2,1
3	16×6	18	2,2
4	18×8	34	2,3
5	20×8	16	2,4
6	22×8	22	2,5
7	20×10	35	2,6
8	18×10	40	2,7
9	16×10	16	2,8
10	14×14	26	2,9
11	14×12	25	3,0
12	14×10	34	3,1
13	12×10	12	3,2
14	12×8	14	3,3
15	10×10	18	3,4
16	8×10	20	3,5
17	6×10	8	3,6
18	11×8	14	3,7
19	11×9	20	3,8
20	15×7	28	3,9
21	15×9	14	4,0
22	15×11	24	2,0
23	17×8	25	2,1
24	17×6	24	2,2
25	19×9	16	2,3

Таблица 7.3 – Коэффициенты использования .

	ШОД	
ρ_n , %	70	0
ρ_c , %	50	0
ρ_p , %	10	0
i		
0,5	22	10
0,6	28	12
0,7	32	14
0,8	35	16
0,9	38	18
1,0	41	19

1,1	43	20
1,25	46	22
1,5	50	24
1,75	53	25
2,0	55	27
2,25	57	28
2,5	59	29
3,0	61	30
3,5	63	31
4,0	65	32

Вопросы к практическому занятию

- 1 Расчет освещенности точечным методом и способы повышения *к.п.д* светильников.
- 2 Проектирование осветительных установок и виды источников света.
- 3 Коэффициент пульсации. и показатель ослепленности.
- 4 Современные осветительные системы.

Практическое занятие № 8

Расчет установок искусственного освещения по методу круглосимметричных точечных излучателей

Цель работы и теоретическую часть занятия смотри в практическом занятии №4.

Круглосимметричные точечные излучатели

Первоначально принимается, что поток лампы (при многоламповых светильниках — суммарный поток ламп) в каждом светильнике равен 1000 лм. Создаваемая в этом случае освещенность называется условной и обозначается e .

Величина e зависит от светораспределения светильника и геометрических размеров d и h .

Для определения e служат пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности (рисунок 6-1 - 6-33 /15/), на которых находится точка с заданными d и h (d , как правило, определяется обмером по масштабному плану) и e определяется путем интерполирования между значениями, указанными у ближайших изолюкс. Аналогичные графики, но построенные по данным измерений, могут применяться для расчета местного освещения.

Пределы шкал на графиках отнюдь не определяют возможной области применения светильника. Если заданные d и h выходят за пределы шкал, в ряде случаев возможно обе эти координаты увеличить (уменьшить) в n раз так, чтобы точка оказалась в пределах графика, и определенное по графику значение увеличить (уменьшить) в n_2 раз.

При отсутствии изолюкс для данного светильника можно воспользоваться графиком для излучателя, имеющего по всем направлениям силу света 100 кд. Значение условной освещенности e_{100} определяется, как сказано выше, одновременно по радиальным лучам находится значение a и по кривой силы света светильника I_a , после чего

$$e = e \cdot 100 \cdot \frac{I_a}{100}$$

Пусть суммарное действие «ближайших» светильников создает в контрольной точке условную освещенность E_e , действие более далеких светильников и отраженную составляющую приближенно учтем коэффициентом m . Тогда для получения в этой точке точки освещенности E с коэффициентом запаса K лампы в каждом светильнике должны иметь поток

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot k}{m \cdot \sum \varepsilon}$$

По этому потоку подбирается ближайшая стандартная лампа, поток которой должен отличаться от расчетного в пределах $-10 - + 20\%$. При невозможности выбора лампы с таким допуском корректируется расположение светильников.

В качестве контрольных выбираются те точки освещаемой площади, в которых E_e имеет наименьшее значение.

Характерные контрольные точки для случая общего равномерного освещения показаны на рисунке 8.1

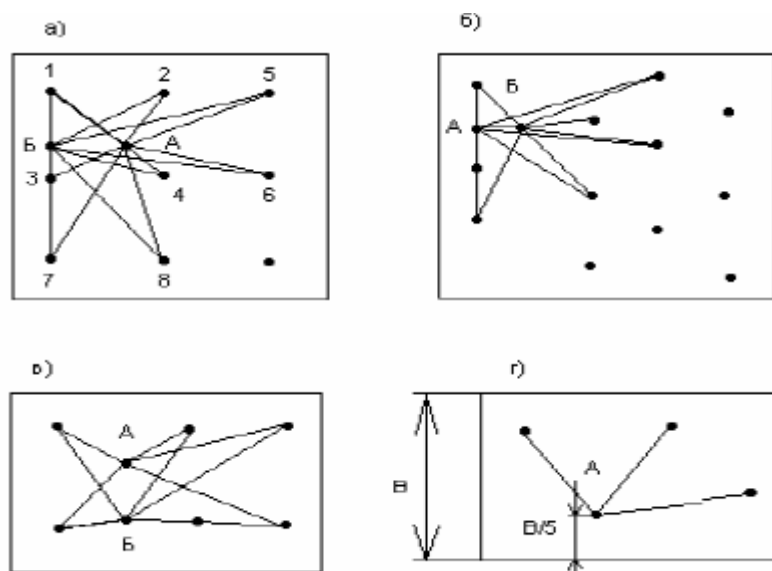


Рисунок 8.1 – Контрольные точки

При встречающемся учащенном расположении светильников рядами вдоль светотехнических мостиков контрольная точка выбирается между рядами на расстоянии от торцевой стены, примерно равном расчетной высоте.

В принципе не следует выискивать точки абсолютного минимума у стен или в углах если в подобных точках есть рабочие места, задача доведения здесь освещенности до норм может быть решена увеличением мощности ближайших светильников или установкой дополнительных светильников.

Схемы расчета локализованного освещения разнообразны. Контрольные точки выбираются, как сказано выше, т.е. наихудшие в пределах поверхности, на которой должна быть обеспечена заданная E . Мощности ламп, участвующих в освещении точки, могут быть и разными. Одна из употребительных схем расчета, предварительное определение мощности ламп, необходимой для равномерного освещения помещения и расчет мощности дополнительных ламп по разности между освещенностью, необходимой в точке и освещенность, создаваемой равномерным освещением.

На рисунке 8.1 контрольные точки соединены линиями с теми светильниками, от которых, обычно определяются значения e . Вообще же, чем меньше $L:h$ и чем шире светораспределения светильников, тем большую роль играют «удаленные» светильники и тем тщательнее следует их учитывать. Во всех случаях при определении e не должны учитываться светильники, реально не создающие освещенности в контрольной точке из-за затенения оборудованием или самим рабочим при его нормальном фиксированном положении у рабочего места.

Значение m чаще всего можно принимать в пределах 1,1 – 1,2, оно зависит от коэффициентов отражения поверхностей помещения, характера светораспределения, тщательности учета «удаленных» светильников и т.д.

В помещении, требуется обеспечить заданное значение E при $K = 1,3$. Данные для расчета выбираются по варианту из таблицы 8.1

Варианты индивидуальных данных к расчету студент выбирает по согласованию с преподавателем.

Таблица 8.1 - Исходные данные для расчета круглосимметричных точечных излучателей

Вариант	Освещенность E , лк	Расстояние до рабочей поверх- ности, h м	Размеры полей м	Тип светильника	№ ри- сунка
1	100	3,5	2·3,5	У15	в
2	50	2,5	1,5·3	УП-24	а
3	200	2,5	1,5·2,5	УПМ-15	б
4	150	4	2,5·4	ППД-200	в
5	100	3	2·4	ППД-500	а
6	50	2,5	2·3	ППД-100	б
7	200	2	1,5·2,5	УПД	в
8	150	7	3·4	ППД2-500	а
9	100	3	2,5·5	Астра- 11	б
10	50	2,5	2·4	ппр	в
11	200	2	3·5	пун	а
12	150	8	4·6	Гс	б
13	100	2	3·5	ПО-21	в
14	50	3,5	2·5	СУ	а
15	200	2	2·3	Астра- 1	б
16	150	4	4·5	арт135	в
17	100	3,5	3·5	УП-24	а
18	50	3	2·4,5	У15	б
19	200	2	2·3	УПМ-15	в
20	150	5	3·6	ППД200	а
21	100	3,5	3·5	УПР	б
22	50	3,5	2·4	ППД100	в
23	200	2	2·3	НСП09	а
24	150	4	4·5	ПУН	б
25	100	3,5	3·5	ППД500	в
26	50	6	3·4	СУ	а
27	200	5	2·4	ППД 2-500	б
28	150	4	3·5	Астра- 1 1	в
29	100	10	4·5	Гс	а
30	50	2,5	2·4	ПО-21	б
31	200	3	2·3	Астра- 12	в
32	150	5	4·5	УП-24	а
33	100	3,5	3·4	Арт. 135	б
34	150	2,5	3·5	Астра- 12	в

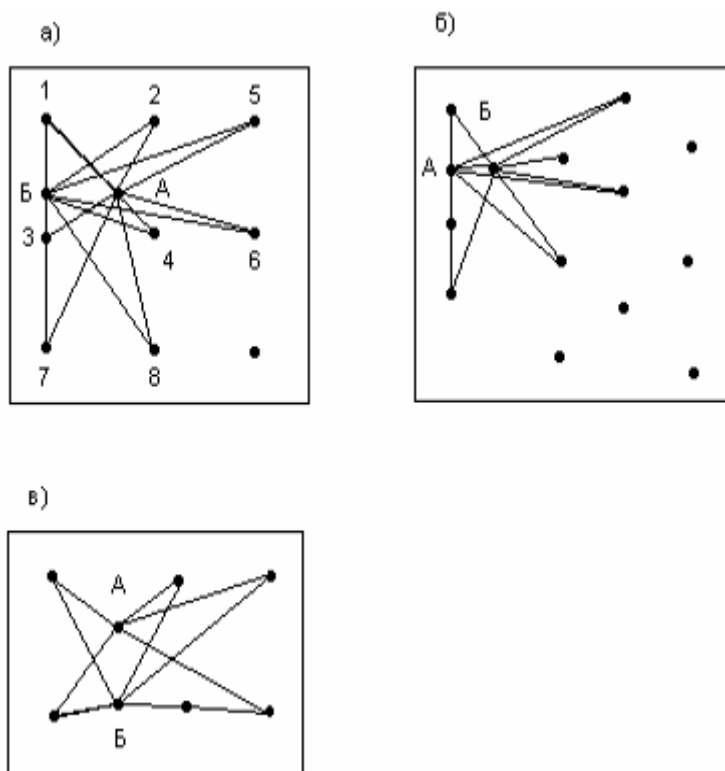


Рисунок 8.2 – Контрольные точки

Задача 1

В помещении, часть которого показана на рисунке 8.2 а, требуется обеспечить $E = 50$ лк при $K = 1,3$. Светильники УПД подвешены на высоте $h = 3$ м. Размеры полей $6 \cdot 4$ м. Расстояние d определяем обмером по масштабному плану. Значение e определяем по графику рисунка 6-6 /7/. Расчеты сводим в таблицу 8.2.

Таблица 8.2 – Результаты расчета

Точка	Номера светильников	Расстояние d , м	Условная освещенность, лк	
			от одного светильника	от всех светильников
А	1,2,3,4	3,6	5,6	22,4
	5,6	6,7	0,4	0,8
	7,8	9,2	0,1	0,2
				$E_e = 23,4$

Б	1,3	3	8,0	16
	2,4	5	1,8	-3,6
	5,6	8,5	0,15	0,3
	7	9	0,1	0,1
				$Y_e = 20$

Наихудшей оказывается точка *Б*, по освещенности которой определяем необходимый поток, принимая $m=1,1$:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot 50 \cdot 1,3}{1,1 \cdot 20,0} = 2950 \text{ лм}$$

По таблице 2 – 2 [7] выбираем лампу 200 Вт.

Вопросы к практическому занятию

1. Методика расчета круглосимметричных точечных излучателей.
2. Количественные характеристики искусственного освещения.
3. Качественные характеристики искусственного освещения.
4. Видимость.
5. Контраст объекта с фоном.
6. Яркость.
7. Сила света.

Практическое занятие № 9

Расчет эффективности звукопоглощения

Цель практического занятия – ознакомить студентов с назначением, устройством, принципом действия и методикой расчета эффективности звукопоглощения.

Теоретическая часть

Назначение, устройство, принцип действия звукопоглощения

Звуковое поле внутри помещения складывается из прямых волн, создаваемых источниками шума, и отраженных от стен и потолка. Задача звукопоглощения – уменьшить долю отраженной волны. С этой целью на ограждающих конструкциях помещений размещаются звукопоглощающие материалы (акустические плиты) или специальные звукопоглощающие конструкции (звукопоглощающие облицовки).

Способность материалов поглощать звуковую энергию характеризуется коэффициентом звукопоглощения α , который представляет собой отношение звуковой энергии, поглощенной материалом, к энергии, на него падающей. Поглощение происходит за счет преобразования звуковой энергии в тепловую при трении воздуха в порах материала. Звукопоглощением обладают любые материалы и строительные конструкции. В таблице 9.1 приведены коэффициенты звукопоглощения ограждающих конструкций помещений [19].

Звукопоглощающими называют материалы и конструкции, обладающие выраженной способностью поглощать падающую на них звуковую энергию ($\alpha > 0,2$). Иногда, особенно на низких частотах, поглощение звука происходит за счет колебания материала, на который падает звуковая волна.

Таблица 9.1 – Коэффициенты звукопоглощения ограждающих конструкций помещений

Ограждающие конструкции помещений	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Окна и двери								
застекленные оконные переплеты	0,35	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,03
окна двойные в деревянных переплетах	0,35	0,35	0,29	0,20	0,14	0,10	0,06	0,04
двери монолитные лакированные	0,03	0,03	0,02	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
Полы								
паркетные по асфальту	0,04	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07
паркетные на шпонках	0,20	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07	0,06
покрытые по твердому основанию метлахской плиткой	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
бетонные	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Стены и потолки								
оштукатуренные и окрашенные клеевой краской	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
оштукатуренные и окрашенные масляной краской	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
стены, оштукатуренные по металлической сетке	0,02	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06	0,06
стены и потолки бетонные	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
стены кирпичные: без расшивки швов	0,01	0,15	0,19	0,29	0,28	0,38	0,46	0,46
то же с расшивкой швов	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06

Эффективность звукопоглощения зависит от физических свойств материала и способа его размещения на ограждающей конструкции (рисунок 9.1).

Материалы могут быть прикреплены вплотную к ограждению без перфорированного покрытия (рисунок 9.1 а) с перфорированным покрытием (рисунок 9.1 б), с одним (рисунок 9.1 в, г) или двумя (рисунок 9.1 д) воздушными промежутками. Крепление материала вплотную к ограждению приводит к уменьшению звукопоглощения на низких частотах.

Воздушный промежуток увеличивает эффект звукопоглощения. Наибольшее звукопоглощение достигается в случае, когда середина пористого слоя располагается на расстоянии $\frac{1}{4}$ длины звуковой волны от ограждающей конструкции.

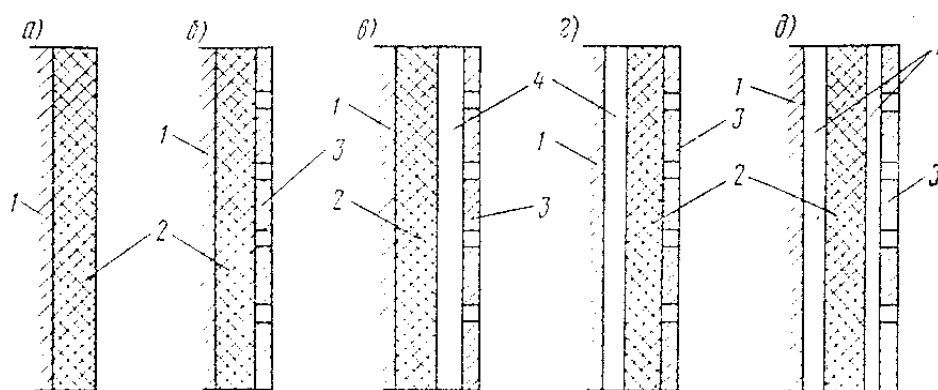


Рисунок 9.1 – Схемы звукопоглощающих конструкций:

1 – ограждение; 2 – звукопоглощающий материал; 3 – перфорированное покрытие; 4 – воздушный промежуток

Для защиты звукопоглощающего материала от повреждений применяются перфорированные покрытия (экраны). Перфорация выполняется в виде круглых отверстий или щелей. В качестве звукопоглощающих материалов используются акустические плиты (таблица 9.2) или звукопоглощающие облицовки из пористо-волокнистых материалов (таблица 9.3) [2].

Характеристикой звукопоглощения ограждающих конструкций является эквивалентная площадь звукопоглощения, определяемая на среднегеометрических октавных частотах по формуле:

$$A_{ij} = \alpha_{ij} \cdot S_i, \quad (9.1)$$

где A_{ij} – эквивалентная площадь звукопоглощения i -той ограждающей конструкции на j -той среднегеометрической октавной частоте, м²;

α_{ij} – коэффициент звукопоглощения i -той ограждающей конструкции на j -той среднегеометрической октавной частоте;

S_i – площадь i -той ограждающей конструкции, м².

Таблица 9.2 – Характеристика акустических плит

Марка и характеристика плиты	Толщина плиты, h, мм	Воздушный промежуток, мм	Коэффициент звукопоглощения α в октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ПА/О минераловатные акустические с не сквозной перфорацией по квадрату диаметром 4 мм (коэффициент перфорации 13 %), размерами 500 х 500 мм	20	0 50	0,02 0,02	0,03 0,05	0,17 0,42	0,68 0,98	0,98 0,90	0,86 0,79	0,45 0,45	0,2 0,19
ПА/С – минераловатные акустические, отделка «набрызгом» размерами 500 х 500 мм	20	0 50	0,02 0,02	0,05 0,12	0,21 0,36	0,66 0,88	0,91 0,94	0,95 0,84	0,89 0,80	0,70 0,65
«Акмигран», «Акминит» минераловатные размерами 300 х 300 мм	20	0 50	0,02 0,01	0,11 0,2	0,30 0,71	0,85 0,88	0,9 0,81	0,78 0,71	0,72 0,79	0,59 0,65
«Силакпор» размерами 450 х 450 мм	45	0	0,10	0,25	0,45	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95
ПА минераловатные плоские самонесущие офактуренные шириной 500, 900, 1000 мм, длиной 1000, 1500, 1800, 2000 мм	40 – 50	0 180	0,28 0,5	0,43 0,7	0,83 0,85	1,0 0,93	1,0 0,98	0,85 0,95	0,8 0,84	0,75 0,8
«Винипор» полужёсткий	50	0 50	0,06 0,12	0,23 0,28	0,46 0,63	0,93 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0
ПП-80, ППМ, ММ звукопоглощающие полужёсткие (ГОСТ 9573–82)	50	0 50	0,14 0,2	0,14 0,2	0,52 0,61	0,9 0,9	0,99 0,94	0,42 0,92	0,82 0,78	0,78 0,76

При оценке эффективности звукопоглощения определяется суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения всех ограждающих конструкций помещения по формуле:

$$A_{\Sigma} = \sum \alpha_{ij} \cdot S_i, \quad (9.2)$$

Таблица 9.3 – Характеристика звукопоглощающих облицовок из слоёв пористо-волоконистых материалов

Конструкция (ГОСТ или ТУ)	Толщина слоя звукопоглощающего материала, h, мм	Воздушный промежуток, d, мм	Коэффициент звукопоглощения α в октавной полосе со среднегеометрической частотой, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Минераловатная плита (звукопоглощающий материал), стеклоткань (защитная оболочка) типа ЭЗ-100 (ГОСТ 19907–83), гипсовая плита перфорированное покрытие) размерами 550 x 500 мм, толщиной 6 мм, перфорацией по квадрату 13 %, диаметром 10 мм	60	0	(0,1)	0,31	0,70	0,95	0,69	0,59	0,50	0,30
То же, но звукопоглощающий материал – прошивные минерало-ватные маты	100	0	0,15	0,42	0,81	0,82	0,69	0,58	0,59	0,58
То же, но звукопоглощающий материал – супер-тонкое стекло-волокно	100	0	0,3	0,66	1,0	1,0	1,0	0,96	0,7	0,55
Маты из супертонкого базальтового волокна, оболочка из декоративной	50	0 50	0,1 0,15	0,2 0,47	0,9 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	0,95 1,0	0,90 0,95	0,85 0,95

стеклоткани типа ТСД										
Звукопоглощающий материал – прошивные минераловатные маты, защитная оболочка – стеклоткань типа ЭЗ-100, перфорированное покрытие – просечно-вытяжной лист толщиной 2 мм, перфорацией 74 %	100	0	0,11	0,35	0,75	1,0	0,95	0,90	0,92	0,95
То же, но звукопоглощающий материал – минераловатная плита	50	0	0,09	0,18	0,55	1,0	0,86	0,79	0,85	0,85
То же, супертонкое стекловолокно	50	0 250	0,07 0,25	0,25 0,63	0,1 1,0	0,95 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	0,95 0,95
То же, маты из супертонкого базальтового волокна	50	0 100	0,05 0,2	0,25 0,37	0,66 0,9	0,98 0,99	0,99 1,0	0,98 1,0	0,95 0,98	0,95 0,97
Звукопоглощающий материал – базальтовое волокно, защитная оболочка – стеклоткань типа ЭЗ-100; перфорированное покрытие – металлический перфорированный лист перфорацией 27 %	50 100	0 50 0	0,06 0,12 0,22	0,2 0,34 0,51	0,5 0,69 0,73	0,82 0,81 0,8	0,9 0,83 0,88	0,92 0,89 0,92	0,85 0,85 0,85	0,64 0,64 0,84
То же, но звукопоглощающий материал – супертонкое стекловолокно	50 100	0 50 0	0,07 0,09 0,19	0,2 0,29 0,49	0,47 0,65 0,81	0,83 0,94 0,94	0,98 0,89 0,94	0,91 0,94 0,9	0,82 0,81 0,81	0,58 0,58 0,58
Маты из супертонкого стекловолокна, оболочка из стеклоткани типа ЭЗ-100	50	0	0,1	0,4	0,85	0,98	1,0	0,93	0,97	1,0

Снижение шума в помещении за счет звукопоглощения определяется по формуле:

$$\Delta L_j = 10 \cdot \lg(A_2 / A_1), \quad (9.3)$$

где ΔL_j – снижение шума на j -той среднегеометрической октавной частоте, дБ;

A_1 – суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения всех ограждающих конструкций помещения до облицовки, определяемая по формуле (9.2), м^2 ;

A_2 – то же после облицовки, м^2 .

Исследования и расчеты показывают, что звукопоглощение, как мера защиты от шума, может быть эффективной, если превышение уровней звукового давления над допустимыми составляет не более 8...10 дБ.

Исходные данные для расчета эффективности звукопоглощения

Спектр шума (уровни звукового давления на среднегеометрических октавных частотах) в помещении.

Габаритные размеры ограждающих конструкций помещения.

Коэффициенты звукопоглощения ограждающих конструкций помещения и звукопоглощающих облицовок.

Последовательность расчета

Определяются превышения уровней звукового давления в помещении над допустимыми значениями по СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [4].

Определяются площади ограждающих конструкций помещения: потолка, пола, стен, дверей, окон.

Определяются эквивалентные площади звукопоглощения ограждающих конструкций помещения до облицовки.

Определяется суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения ограждающих конструкций помещения до облицовки.

Определяются эквивалентные площади звукопоглощения ограждающих конструкций помещения после облицовки.

Определяется суммарная эквивалентная площадь звукопоглощения ограждающих конструкций помещения после облицовки.

Определяется снижение шума в помещении за счет звукопоглощения.

Определяются ожидаемые уровни звукового давления в помещении после облицовки.

По результатам расчета делаются соответствующие выводы.

Пример расчета

Оценить эффективность звукопоглощения в помещении планового отдела предприятия после облицовки стен и потолка звукопоглощающими материалами. Уровни звукового давления в помещении планового отдела в дБ и коэффициенты звукопоглощения ограждающих конструкций представлены в таблице 9.4. Габаритные размеры ограждающих конструкций представлены в таблице 9.5.

Таблица 9.4 – Исходные данные к расчету эффективности звукопоглощения

Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровни звукового давления в помещении планового отдела, L , дБ	58	52	65	67	62	60	51	53
Коэффициенты звукопоглощения ограждающих конструкций помещения до облицовки α_{ij} стены	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
потолок	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
пол	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08	0,06	0,06	0,07
окна	0,35	0,35	0,29	0,2	0,14	0,1	0,06	0,04
двери	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,07	0,04
Коэффициенты звукопоглощения облицовки (маты из супертонкого стекловолокна толщиной 50 мм) α_{ij}	0,1	0,4	0,85	0,98	1,0	0,93	0,97	1,0

Таблица 9.5 – Габаритные размеры ограждающих конструкций помещения

Размеры помещения, м			Двери	Окна
длина A	ширина B	высота H	количество $\times$ высота $\times$ ширина ($n \times h_{дв} \times b_{дв}$)	количество $\times$ высота $\times$ ширина ($m \times h_o \times b_o$)
13	7	3,9	1 $\times$ 2,4 $\times$ 1,2	4 $\times$ 1,8 $\times$ 2,4

Результаты расчетов представлены в таблице 9.6.

Таблица 9.6 – Результаты расчета эффективности звукопоглощения

№ позиции	Показатель	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

1	Уровни звукового давления в помеще-нии планового отдела, L , дБ	58	52	65	67	62	60	51	53
2	Допустимые уровни звукового давления для административно-управленческой деятельности, $L_{доп}$, дБ	79	70	63	58	55	52	50	49
3	Превышение уровней звукового давления над допустимым, Δ , дБ	-	-	2	9	7	8	1	4
	до облицовки	$\frac{\alpha_{ij}}{A_{ij} = \alpha_{ij} S_i}$							
4	Стены, $S_{ст} = 135,8 \text{ м}^2$	$\frac{0,01}{1,4}$	$\frac{0,02}{2,7}$	$\frac{0,02}{2,7}$	$\frac{0,02}{2,7}$	$\frac{0,03}{4,1}$	$\frac{0,04}{5,4}$	$\frac{0,04}{5,4}$	$\frac{0,04}{5,4}$
5	Потолок, $S_{пот} = 91 \text{ м}^2$	$\frac{0,01}{0,9}$	$\frac{0,01}{0,9}$	$\frac{0,01}{0,9}$	$\frac{0,01}{1,8}$	$\frac{0,02}{1,8}$	$\frac{0,02}{1,8}$	$\frac{0,02}{1,8}$	$\frac{0,02}{1,8}$
6	Пол, $S_{пол} = 91 \text{ м}^2$	$\frac{0,1}{9,1}$	$\frac{0,1}{9,1}$	$\frac{0,1}{9,1}$	$\frac{0,1}{9,1}$	$\frac{0,08}{7,3}$	$\frac{0,06}{5,5}$	$\frac{0,06}{5,5}$	$\frac{0,07}{6,4}$
7	Окна, $S_{ок} = 17,3 \text{ м}^2$	$\frac{0,35}{6,1}$	$\frac{0,35}{6,1}$	$\frac{0,29}{5,0}$	$\frac{0,2}{3,5}$	$\frac{0,14}{2,4}$	$\frac{0,1}{1,7}$	$\frac{0,06}{1,0}$	$\frac{0,04}{0,7}$
8	Двери, $S_{дв} = 2,9 \text{ м}^2$	$\frac{0,1}{0,3}$	$\frac{0,1}{0,3}$	$\frac{0,1}{0,3}$	$\frac{0,1}{0,3}$	$\frac{0,08}{0,2}$	$\frac{0,08}{0,2}$	$\frac{0,07}{0,2}$	$\frac{0,04}{0,1}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	Суммарные эквива-лентные площади зву-копоглощения ограж-дающих конструкций до облицовки, $A_i = \sum \alpha_{ij} S_i$, м^2	17,8	19,1	18,0	16,5	15,8	14,6	13,9	14,4
	после облицовки	$\frac{\alpha_{ij}}{A_{ij} = \alpha_{ij} S_i}$							
10	Стены, $S_{ст} = 135,8 \text{ м}^2$	$\frac{0,1}{13,6}$	$\frac{0,4}{54,3}$	$\frac{0,85}{115,4}$	$\frac{0,98}{133,1}$	$\frac{1,0}{135,8}$	$\frac{0,93}{126,3}$	$\frac{0,97}{131,7}$	$\frac{1,0}{135,8}$
11	Потолок, $S_{пот} = 91 \text{ м}^2$	$\frac{0,1}{9,1}$	$\frac{0,4}{36,4}$	$\frac{0,85}{77,4}$	$\frac{0,98}{89,2}$	$\frac{1,0}{91}$	$\frac{0,93}{84,6}$	$\frac{0,97}{88,3}$	$\frac{1,0}{91}$
12	Пол, $S_{пол} = 91 \text{ м}^2$	$\frac{0,1}{9,1}$	$\frac{0,1}{9,1}$	$\frac{0,1}{9,1}$	$\frac{0,1}{9,1}$	$\frac{0,08}{9,1}$	$\frac{0,06}{9,1}$	$\frac{0,06}{9,1}$	$\frac{1,0}{9,1}$

		9,1	9,1	9,1	9,1	7,3	5,5	5,5	91
13	Окна, $S_{ок} = 17,3 \text{ м}^2$	$\frac{0,35}{6,1}$	$\frac{0,35}{6,1}$	$\frac{0,29}{5,0}$	$\frac{0,2}{3,5}$	$\frac{0,14}{2,4}$	$\frac{0,1}{1,7}$	$\frac{0,06}{1,0}$	$\frac{1,0}{17,3}$
14	Двери, $S_{дв} = 2,9 \text{ м}^2$	$\frac{0,1}{0,3}$	$\frac{0,1}{0,3}$	$\frac{0,1}{0,3}$	$\frac{0,1}{0,3}$	$\frac{0,08}{0,2}$	$\frac{0,08}{0,2}$	$\frac{0,07}{0,2}$	$\frac{1,0}{2,9}$
15	Суммарные эквивалентные площади звукопоглощения ограждающих конструкций после облицовки, $A_2 = \sum \alpha_{ij} S_i, \text{ м}^2$	38,2	106,2	207,2	235,2	236,7	218,3	226,7	338
16	Снижение шума, ΔL , дБ	3	7	11	12	12	12	12	12
17	Ожидаемые уровни звукового давления в помещении планового отдела, $L_{ожид}$, дБ	55	45	54	55	50	48	39	41

В позицию 1 таблицы 10.6 из таблицы 9.4 выписываем уровни звукового давления L , дБ, в помещении планового отдела.

В позицию 2 из санитарных норм СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (приложение 1) выписываем допустимые уровни звукового давления $L_{дон}$ для административно-управленческой деятельности.

На каждой среднегеометрической октавной частоте определяем ΔL – превышение уровней звукового давления в помещении над допустимыми значениями по формуле:

$$\Delta = L - L_{дон}, \quad (9.4)$$

На частоте 63 Гц $\Delta_{63} = 58-79$ – превышения нет.

На частоте 125 Гц $\Delta_{125} = 52-70$ – превышения нет.

На частоте 250 Гц $\Delta_{250} = 65-63 = 2$ дБ.

Результаты расчётов представлены в позиции 3.

Определяем площади ограждающих конструкций помещения:

окна $S_{ок} = m \cdot h_o \cdot b_o = 4 \cdot 2,4 \cdot 1,8 = 17,3 \text{ м}^2$;

двери $S_{дв} = n \cdot h_{дв} \cdot b_{дв} = 1 \cdot 2,4 \cdot 1,2 = 2,9 \text{ м}^2$;

стены $S_{ст} = 2 \cdot (A + B) \cdot H - S_{дв} - S_{ок} =$
 $= 2 \cdot (13 + 7) \cdot 3,9 - 2,9 - 17,3 = 135,8 \text{ м}^2$;

потолок $S_{ном} = A \cdot B = 13 \cdot 7 = 91 \text{ м}^2$;

пол $S_{пол} = A \cdot B = 13 \cdot 7 = 91 \text{ м}^2$.

На каждой среднегеометрической октавной частоте определяем эквивалентные площади звукопоглощения ограждающих конструкций до облицовки по формуле (9.1).

На частоте 63 Гц коэффициент звукопоглощения стен $\alpha_{ij} = 0,01$, площадь стены $S_i = 135,8 \text{ м}^2$.

Эквивалентная площадь звукопоглощения стены: $A_{ij} = 0,01 \cdot 135,8 = 1,4 \text{ м}^2$.

Запись в таблице 9.6 удобно представить в виде дроби: $\frac{\alpha_{ij}}{A_{ij}}$.

На частоте 63 Гц для стен записываем $\frac{0,01}{1,4}$. Результаты расчетов для стен, потолка, пола, окон и дверей представлены соответственно в позициях 4, 5, 6, 7 и 8.

На каждой среднегеометрической октавной частоте определяем суммарные эквивалентные площади звукопоглощения ограждающих конструкций до облицовки A_1 по формуле (9.2).

На частоте 63 Гц

$$A_1 = A_{1cm} + A_{1nom} + A_{1пол} + A_{1ок} + A_{1дв} = 1,4 + 0,9 + 9,1 + 6,1 + 0,3 = 17,8 \text{ м}^2.$$

Результаты расчетов представлены в позиции 9.

На каждой среднегеометрической октавной частоте определяем эквивалентные площади звукопоглощения ограждающих конструкций после облицовки по формуле (9.1).

На частоте 63 Гц коэффициент звукопоглощения облицованных стен $\alpha_{ij} = 0,1$, площадь стены $S_i = 135,8 \text{ м}^2$:

$$A_{ij} = 0,1 \cdot 135,8 = 13,6 \text{ м}^2.$$

Так как облицовке подлежат только стены и потолок, коэффициенты звукопоглощения окон, дверей и пола после облицовки не изменились, поэтому остались неизменными эквивалентные площади звукопоглощения этих ограждающих конструкций. Результаты расчетов представлены в позициях 10, 11, 12, 13 и 14.

На каждой среднегеометрической октавной частоте определяем суммарные эквивалентные площади звукопоглощения после облицовки A_2 по формуле (9.2).

На частоте 63 Гц

$$A_2 = A_{2cm} + A_{2nom} + A_{2пол} + A_{2ок} + A_{2дв} = 13,6 + 9,1 + 9,1 + 6,1 + 0,3 = 38,2 \text{ м}^2.$$

Результаты расчетов представлены в позиции 15.

На каждой среднегеометрической октавной частоте определяем снижение шума в помещении по формуле (9.3).

$$\Delta L = 10 \cdot \lg (38,2/17,8) = 3 \text{ дБ}.$$

Результаты расчетов, округленные до целых значений, представлены в позиции 16.

На каждой среднегеометрической октавной частоте определяем ожидаемые уровни звукового давления $L_{ожид}$ в помещении после облицовки стен и потолка по формуле:

$$L_{ожид} = L - \Delta L. \quad (9.5)$$

На частоте 63 Гц

$$L_{ожд} = 58 - 3 = 55 \text{ дБ.}$$

Результаты расчетов представлены в позиции 17.

По результатам расчетов представляем спектры шума (рисунок 9.2).

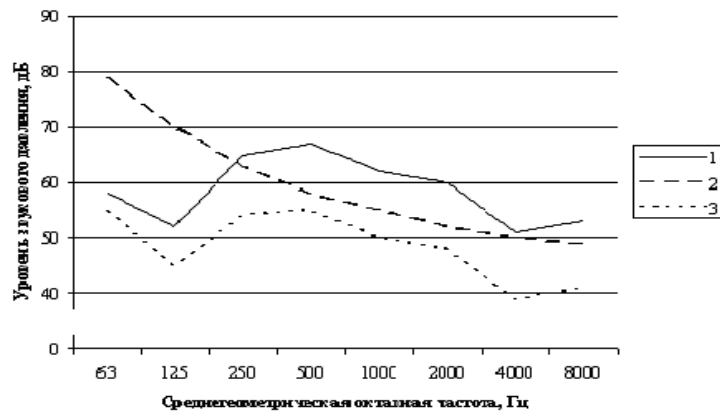


Рисунок 9.2 – Спектры шума:

- 1 – в помещении планового отдела; 2 – допустимый по СН 2.2.4/2.1.8.562-96;
3 – ожидаемый после облицовки стен и потолка

Контрольные вопросы

- 1 Что такое звукопоглощение?
- 2 Как выполняется звукопоглощение помещения?
- 3 Что такое коэффициент звукопоглощения?
- 4 Какие материалы относят к звукопоглощающим?
- 5 Что такое эквивалентная площадь звукопоглощения?
- 6 Какие исходные данные необходимы для расчета эффективности звукопоглощения?
- 7 Какова последовательность расчета эффективности звукопоглощения?

Практическое занятие № 10

Расчет заземления в двухслойной земле

Цель практического занятия – ознакомить студентов с назначением, устройством, принципом действия защитного заземления и методикой расчета заземляющих устройств.

Теоретическая часть

Защитное заземление является одной из мер защиты от опасности поражения электрическим током при косвенном прикосновении – электрическом контакте людей или животных с открытыми проводящими частями, оказавшимися под напряжением.

В электроустановках напряжением выше 1 кВ переменного и постоянного токов защитное заземление выполняется при любом режиме нейтрали. В таких сетях для снижения напряжения шага и прикосновения выполняется дополнительная мера защиты – выравнивание потенциалов при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединённых к заземляющему устройству.

Сопротивления заземляющих устройств нормируются «Правилами устройства электроустановок».

При устройстве защитного заземления с целью экономии средств ПУЭ рекомендуют в первую очередь использовать естественные заземлители – (металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в земле металлические трубы водопроводов, другие находящиеся в земле металлические конструкции, кроме трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей, трубопроводов канализации и центрального отопления). При отсутствии естественных заземлителей используют искусственные заземлители.

При расчете заземлителя в двухслойной земле определяют площадь территории заземлителя, суммарную длину горизонтальных электродов L_z и количество вертикальных – n и их суммарную длину, м.

$$L_z = n \cdot l_g \quad (10.1)$$

Составляют условную модель заземлителя.

Вычисляют:

а) Длину одной стороны модели, равную $\sqrt{S}$, м

б) Количество ячеек по одной стороне модели

$$m = \frac{L_z}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1 \quad (10.2)$$

Если m дробное, то округляют до целого и уточняют значение L_z , м

$$L_z = 2 \cdot (m + 1) \cdot \sqrt{S} \quad (10.3)$$

в) длину стороны модели b , м

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m} \quad (10.4)$$

г) суммарную длину вертикальных электродов L_g

д) Относительную длину погружения в землю вертикальных электродов

$$t_{\text{отн}} = \frac{(l_g + t_g)}{\sqrt{S}} \quad (10.5)$$

е) Относительную длину верхней части

$$l_{\text{отн}} = \frac{(h_1 - t_g)}{l_g} \quad (10.6)$$

ж) Расчетное эквивалентное сопротивление земли

$$\rho_3 = \rho_2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^k$$

ρ_1, ρ_2 – удельные сопротивления верхнего и нижнего слоев земли, Ом м

k – показатель степени.

$$\text{При } 1 < \rho_1 / \rho_2 < 10 \quad k = 0,43 \cdot \left(l_{\text{отн}} + 0,272 \cdot \ln \cdot \frac{a \cdot \sqrt{2}}{l_g} \right)$$

$$\text{При } 0 \leq \rho_1 / \rho_2 \leq 1 \quad k = 0,32 \cdot \left(1 + 0,26 \cdot \ln \cdot \frac{h_1}{l_e} \right)$$

h_1 – толщина верхнего слоя земли

l_e – длина вертикального электрода

a – расстояние между вертикальными электродами.

Вычисляют искомое расчетное сопротивление R , Ом:

$$R = A \cdot \frac{\rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{L_e + n \cdot l_e} \quad (10.7)$$

$$A = 0,444 - 0,84 \cdot t_{отн} \text{ при } 0 \leq t_{отн} \leq 0,1$$

$$A = 0,385 - 0,25 \cdot t_{отн} \text{ при } 0,1 \leq t_{отн} \leq 0,5$$

затем вычисляют потенциал заземлённого устройства в аварийный период, этот потенциал не должен превышать 10 кВ.

$$\varphi_{з,у} = I_z \cdot R_{з,у} \quad (10.8)$$

Задача 1. Рассчитать заземлитель подстанции 110/35/6 кВ в двухслойной земле методом наведенных потенциалов по допустимому сопротивлению.

Исходные данные:

1) подстанция понижающая, имеет два трансформатора 110/35/6 кВ с эффективно заземленной нейтралью со стороны 110 кВ; для питания собственных нужд имеется трансформатор 6/0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью со стороны низшего напряжения, распределительные устройства 110 и 35 кВ открытого типа, 6 кВ — закрытого (рисунок 6.1 а)

2) территория подстанции занимает площадь $S = 6300 \text{ м}^2$;

3) заземлитель предполагается выполнить из горизонтальных полосовых электродов сечением $4 \times 40 \text{ мм}^2$ и вертикальных стержневых электродов длиной $l = 5 \text{ м}$, диаметром $d = 12 \text{ мм}$; глубина заложения электродов в землю $t = 0.8 \text{ м}$;

4) расчетные удельные сопротивления верхнего и нижнего слоев земли $\rho_1 = 230 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $\rho_2 = 230 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; мощность верхнего слоя земли $h_1 = 2.8 \text{ м}$;

5) в качестве естественного заземлителя предполагается использовать систему трос-опоры двух подходящих к подстанции воздушных линий

электропередачи 110 кВ на металлических опорах с длиной пролета $l = 250$ м; каждая линия имеет один стальной грозозащитный трос сечением $s = 50 \text{ мм}^2$; расчетное (с учетом сезонных колебаний) сопротивление заземления одной опоры $r_{on} = 12 \text{ Ом}$; число опор с тросом на каждой линии больше 20; данные измерений сопротивления системы трос-опоры отсутствуют;

б) расчетный ток замыкания на землю на стороне 110 кВ составляет 5 кА, на стороне 35 кВ – 40 А, на стороне 6 кВ – 30 А.

Решение

Сопротивление заземлителя растеканию тока R_z согласно требованиям ПУЭ должно быть не более 0,5 Ом.

Сопротивление естественного заземлителя для двух линий R_e :

$$R_e = \frac{1}{2} \sqrt{r_{on} \cdot \frac{0,15 \cdot l}{s \cdot n}} = \frac{1}{2} \sqrt{12 \cdot \frac{0,15 \cdot 250}{50 \cdot 1}} = 1,5 \text{ Ом.}$$

Требуемое сопротивление искусственного заземлителя R_u получим с учетом того, что $R_e = 1,5$ и $R_z = 0,5$ Ом:

$$R_u = \frac{1,5 \cdot 0,5}{1,5 - 0,5} = 0,75 \text{ Ом.}$$

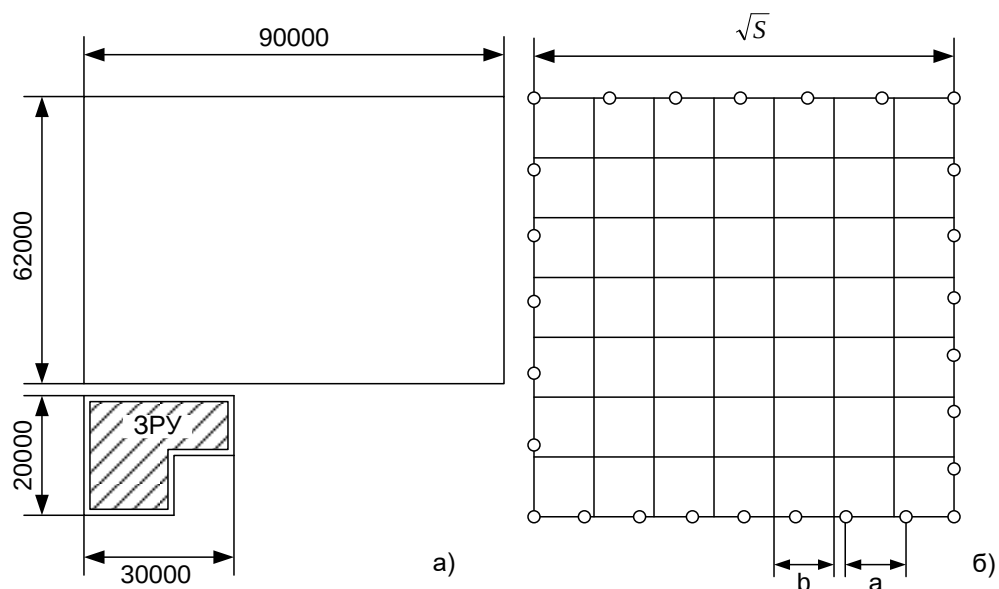


Рисунок 10.1 – Предварительная схема (а) и расчетная модель (б).

Составляем предварительную схему заземлителя и наносим ее на план подстанции, приняв контурный (распределенный) тип заземлителя, т. е. в виде сетки из горизонтальных полосовых и вертикальных стержневых (длиной $l = 5$ м) электродов. Вертикальные электроды размещаем по периметру заземлителя (рисунок 10.1 а). По предварительной схеме определяем суммарную длину горизонтальных и количество вертикальных электродов:

$$L_z = 1310 \text{ м}; n = 32 \text{ шт.}$$

Составляем расчетную модель заземлителя в виде квадратной сетки площадью $S = 6300 \text{ м}^2$. Длина одной стороны ее будет $\sqrt{S} = 80$ м (рисунок 10.1 б)

Количество ячеек по одной стороне модели:

$$m = \frac{1310}{2 \cdot 80} - 1 = 7,25$$

Принимаем $m = 7$.

Уточняем суммарную длину горизонтальных электродов:

$$L_z = 2 \cdot (7 + 1) \cdot 80 = 1280 \text{ м.}$$

Длина стороны ячейки в модели:

$$b = \frac{80}{7} = 11,4 \text{ м.}$$

Расстояние между вертикальными электродами:

$$a = 4 \cdot \frac{80}{32} = 10 \text{ м.}$$

Суммарная длина вертикальных электродов:

$$L_g = 32 \cdot 5 = 160 \text{ м.}$$

Относительная глубина погружения в землю вертикальных электродов:

$$t_{отн} = \frac{(5 + 0,8)}{80} = 0,0725$$

Относительная длина:

$$t_{отн} = \frac{(2,8 - 0,8)}{5} = 0,4$$

Расчетное эквивалентное удельное сопротивление грунта ρ_3 .
Предварительно находим значения ρ_1 / ρ_2 и k :

$$\rho_1 / \rho_2 = \frac{230}{80} = 2,87$$

Поскольку $1 < \rho_1 / \rho_2 < 10$, значение k :

$$k = 0,43 \cdot \left(0,4 + 0,272 \cdot \ln \cdot \frac{10 \cdot \sqrt{2}}{5} \right) = 0,294$$

Теперь определяем ρ_3 :

$$\rho_3 = \rho_2 \left(\frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^k = 80 \cdot \left(\frac{230}{80} \right)^{0,294} = 80 \cdot P$$

Находим значение P :

$$\ln P = 0,294 \cdot \ln 2,87 = 0,31 \quad P = 1,36$$

Следовательно, $\rho_3 = 80 \cdot 1,36 = 108 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Вычисляем расчетное сопротивление R рассматриваемого искусственного заземлителя. Предварительно находим коэффициент A , поскольку $0 < t_{\text{отн}} < 0,1$:

$$A = 0,444 - 0,84 \cdot t_{\text{отн}} = 0,444 - 0,84 \cdot 0,0725 = 0,4$$

Тогда

$$R = A \cdot \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_e + L_g} = 0,4 \cdot \frac{108}{80} + \frac{108}{1280 + 160} = 0,62 \text{ Ом}.$$

Это значение R практически совпадает с требуемым сопротивлением искусственного заземлителя (0,75 Ом); некоторая разница допустима, тем более что в данном случае она повышает условия безопасности.

Общее сопротивление заземлителя подстанции (с учетом сопротивления естественного заземлителя)

$$R_3 = \frac{R \cdot R_e}{R + R_e} = \frac{0,62 \cdot 1,5}{0,62 + 1,5} = 0,44 \text{ Ом}.$$

Определяем потенциал заземляющего устройства в аварийный период

$$\varphi_{3,y} = I_3 \cdot R_3 = 5000 \cdot 0,44 = 2200 \text{ В}.$$

Этот потенциал допустим, так как он меньше 10 кВ.

Таким образом, искусственный заземлитель подстанции должен быть выполнен из горизонтальных пересекающихся полосовых электродов сечением $4 \times 40 \text{ мм}^2$ общей длиной не менее 1280 м и вертикальных стержневых в количестве не менее 32 шт. диаметром 12 мм, длиной по 5 м, размещенных по периметру заземлителя по возможности равномерно, т. е. на одинаковом расстоянии один от другого; глубина погружения электродов в землю 0,8 м. При этих условиях сопротивление R_u искусственного заземлителя в самое неблагоприятное время года не будет превышать 0,62 Ом, а сопротивление заземлителя подстанции в целом R_z , т. е. общее сопротивление искусственного и естественного заземлителей, будет не более 0,5 Ом.

Таблица 10.7 – Варианты заданий

№ вар	$t, \text{ м}$	$\rho_1 \text{ Ом}$	$\rho_2 \text{ Ом}$	$l, \text{ м}$	$r_{on}, \text{ Ом}$	$I_{к1}, \text{ кА}$	$I_{к2}, \text{ кА}$	$I_{к3}, \text{ кА}$
1	0,8	230	80	250	10	5	40	30
2	0,7	220	75	245	11	4,5	35	25
3	0,6	210	70	240	12	4	30	20
4	0,8	230	70	235	13	5	35	25
5	0,7	210	75	230	14	4,5	40	30
6	0,6	230	80	225	15	4	35	25
7	0,8	220	75	220	10	4,5	30	20
8	0,7	210	80	215	11	5	35	25
9	0,6	230	70	210	12	5,5	40	30
10	0,6	220	75	230	15	4	35	25

Практическое занятие № 11

Назначение и устройство защитного заземления

Цель практического занятия – ознакомить студентов с назначением, устройством, принципом действия защитного заземления и методикой расчета заземляющих устройств.

Теоретическая часть

Назначение, принцип действия, устройство защитного заземления

Защитное заземление является одной из мер защиты от опасности поражения электрическим током при косвенном прикосновении – электрическом контакте людей или животных с открытыми проводящими частями, оказавшимися под напряжением.

К открытым проводящим частям «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ) относят доступные прикосновению части электроустановок, которые могут проводить электрический ток, нормально не находящиеся под напряжением, но которые могут оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции (корпуса электрических машин, аппаратов, светильников, каркасы распределительных щитов, трубы электропроводки и т.д.).

В соответствии с ГОСТ 12.1.038-82(2001) [18] защита от опасности косвенного прикосновения может быть обеспечена либо за счёт снижения напряжения прикосновения (защитное заземление, выравнивание потенциалов), либо за счёт ограничения времени воздействия тока (защитное зануление, защитное автоматическое отключение питания).

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

Заземляющее устройство – это совокупность заземлителей и заземляющих проводников (рисунок 11.1).

Заземлитель – проводящая часть или совокупность соединённых между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землёй непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Заземляющий проводник – проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

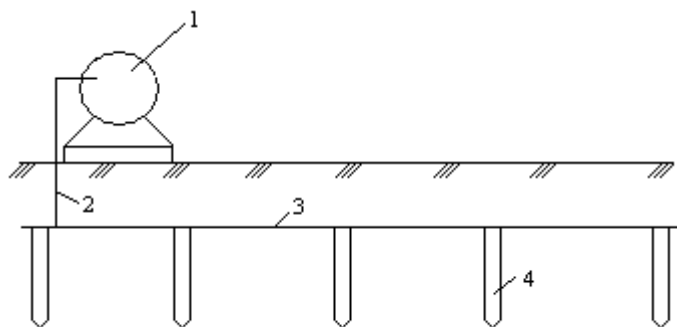


Рисунок 11.1 – Заземляющее устройство:

1 – заземляемая часть (открытая проводящая часть); 2 – заземляющий проводник; 3 – соединительная полоса; 4 – заземлитель

По назначению различают: рабочее заземление, защитное заземление, повторное заземление нулевого провода, заземление молниезащиты и т.д.

Защитное заземление – заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

При напряжении до 1 кВ защитное заземление выполняется в электроустановках системы *IT*. Первая буква в этих обозначениях показывает состояние нейтрали: *I* – изолированная нейтраль. Вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли: *T* – открытые проводящие части заземлены.

Система *IT* – система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление (например, пробивной предохранитель), а открытые проводящие части электроустановки заземлены. Это трёхфазные

трёхпроводные сети с изолированной нейтралью источника питания переменного тока (рисунок 11.2)

К системе *IT* относятся также однофазные двухпроводные изолированные от земли сети переменного тока (рисунок 11.3) и двухпроводные с изолированной средней точкой источника постоянного тока.

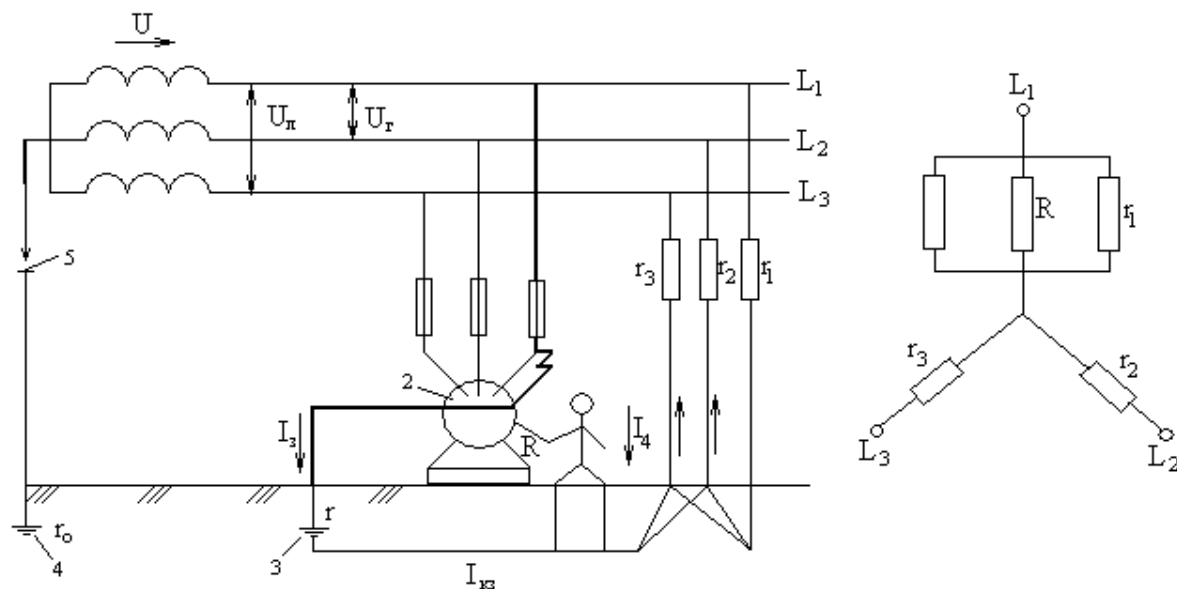


Рисунок 11.2 – Защитное заземление и схема замещения в трёхфазной трёхпроводной сети с изолированной нейтралью источника питания переменного тока:

1 – источник питания; 2 – открытая проводящая часть; 3 – защитное заземление; 4 – рабочее заземление; 5 – пробивной предохранитель

При защитном заземлении переход напряжения на открытые проводящие части сопровождается протеканием тока через заземляющее устройство и последовательно включённые сопротивления изоляции неповреждённых фазных проводов относительно земли (на рисунках 11.2 и 11.3 жирно выделенные участки). В результате протекания тока напряжение сети перераспределяется между сопротивлениями защитного заземления и сопротивлениями изоляции неповреждённых фаз. Сопротивление защитного заземления выполняется достаточно малым по сравнению с сопротивлениями изоляции фазных проводов относительно земли. Величина сопротивления

защитного заземления выбирается таким, чтобы падение напряжения на заземляющем устройстве не превышало допустимых значений. Таким образом, защитное заземление снижает напряжение открытых проводящих частей относительно земли, напряжение, приложенное к телу человека (напряжение прикосновения), следовательно, и ток через него до допустимых значений. Снижение напряжения достигается за счёт последовательного включения малого по величине сопротивления заземляющего устройства с высокими сопротивлениями изоляции фазных проводов относительно земли (рисунки 11.2 и 11.3).

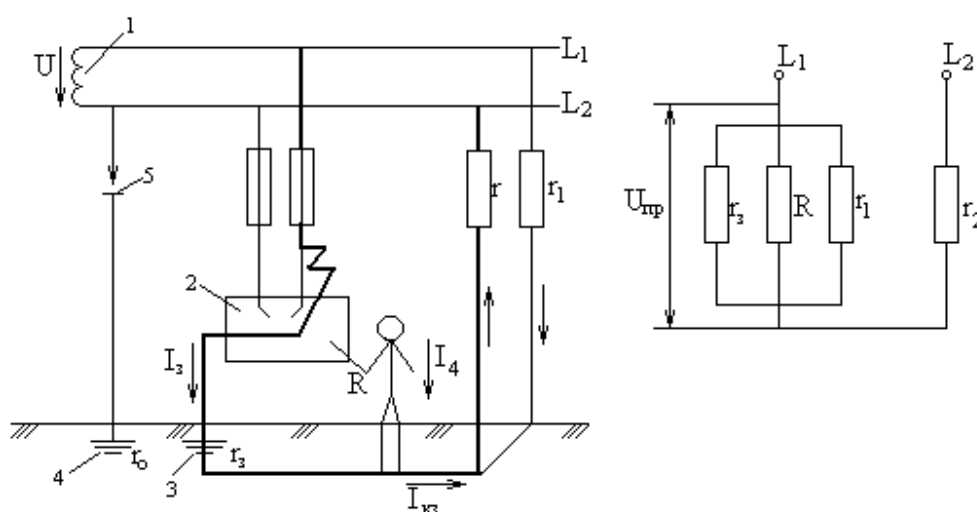


Рисунок 11.3 – Защитное заземление и схема замещения в однофазной двухпроводной изолированной от земли сети переменного тока:

1 – источник питания; 2 – открытая проводящая часть; 3 – защитное заземление; 4 – рабочее заземление; 5 – пробивной предохранитель

В электроустановках напряжением выше 1 кВ переменного и постоянного токов защитное заземление выполняется при любом режиме нейтрали или средней точки источника тока. В таких сетях для снижения напряжения шага и прикосновения выполняется дополнительная мера защиты – выравнивание потенциалов при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединённых к заземляющему устройству.

Сопротивления заземляющих устройств нормируются «Правилами устройства электроустановок». Нормированные значения сопротивлений заземляющих устройств представлены в таблице 11.1.

При устройстве защитного заземления с целью экономии средств ПУЭ рекомендуют в первую очередь использовать естественный заземлитель – стороннюю проводящую часть, находящуюся в электрическом контакте с землёй непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемую для целей заземления (металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в земле металлические трубы водопроводов, другие находящиеся в земле металлические конструкции, кроме трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей, трубопроводов канализации и центрального отопления). При отсутствии естественных заземлителей используют искусственные заземлители.

Таблица 11.1 – Нормированные значения сопротивлений заземляющих устройств в электроустановках напряжением до 1 кВ и выше

Нормированное значение заземляющего устройства, Ом	Характеристика электроустановок
$r_3 \leq \frac{50}{I_3}$, не требуется принимать менее 4 Ом	Для всех электроустановок напряжением до 1 кВ и мощностью источника более 100 кВ·А
$r_3 \leq \frac{50}{I_3}$, не требуется принимать менее 10 Ом	Только для электроустановок напряжением до 1 кВ и мощностью источника до 100 кВ·А. При параллельной работе трансформаторов и генераторов 10 Ом допускается при суммарной их мощности не более 100 кВ·А
$r_3 \leq 4$ $r_3 \leq \frac{125}{I_3}$	Если заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до 1 кВ и выше, при расчётном токе замыкания на землю $I_3 \leq 500$ А
$r_3 \leq 10$ $r_3 \leq \frac{250}{I_3}$	Если заземляющее устройство используется только для электроустановок напряжением свыше 1 кВ, при расчётном токе замыкания на землю $I_3 \leq 500$ А

$r_3 \leq 0.5$	Для электроустановок напряжением выше 1 кВ и расчётном токе замыкания на землю $I_3 > 500$ А

Примечание: при удельном сопротивлении грунта $\rho > 500$ Ом·м указанные значения сопротивлений заземляющих устройств могут быть увеличены в 0.002ρ раз, но не более 10 раз

Основным параметром, характеризующим заземляющее устройство, является сопротивление растеканию тока. Сопротивление растеканию тока складывается из сопротивления заземляющих проводников, заземлителей и земли. Сопротивление металлических проводников очень мало, поэтому основное сопротивление растеканию оказывает земля. При расчётах сопротивление земли условно относят к заземлителю.

Сопротивление растеканию искусственных заземлителей зависит от формы и геометрических размеров заземлителей, удельного сопротивления грунта и его состояния, глубины заложения и способа размещения заземлителей (в ряд или по контуру).

В качестве вертикальных заземлителей используются уголкового типа сталь или стальные трубы длиной 2,5–3 м. Расчёты показывают, что увеличение длины электродов свыше 3 м не даёт заметного уменьшения сопротивления растеканию. Заземлители длиной более 3 м выполняют из стальных стержней.

Сечение заземлителей выбирается по механической прочности, термической устойчивости и условий работы в коррозионной среде.

Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле, представлены в таблице 11.2.

Таблица 11.2 – Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле (извлечение из ПУЭ, 7-е издание)

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Толщина стенки, мм
Сталь чёрная	Круглый: для вертикальных заземлителей	16	-	-
		10	-	-

	для горизонтальных заземлителей	-	100	4
	прямоугольный	-	100	4
	угловой	32	-	3,5
	трубный			
Сталь	Круглый:			
оцинков	для вертикальных заземлителей	12	-	-
анная	для горизонтальных	10	-	-
	заземлителей	-	75	3
	прямоугольный	25	-	2
	трубный			

Заземлители могут располагаться в ряд и по контуру. При размещении заземлителей по контуру обеспечивается лучшее выравнивание потенциалов, но в этом случае будет иметь место большее взаимное экранирование заземлителей.

Заземлители могут располагаться у поверхности земли или на некоторой глубине. Обычно это глубина промерзания грунта. Для стационарных заземляющих устройств предпочтительнее закладывать заземлители на глубине 0,5 – 0,8м (рисунок 11.4), что исключает резкие колебания удельного сопротивления грунта в месте расположения заземлителей при его промерзании или высыхании.

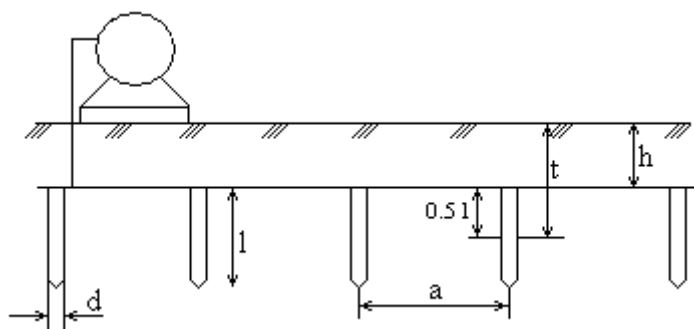


Рисунок 11.4 – К расчёту заземляющего устройства:

d – диаметр заземлителя (эквивалентный диаметр при угловой стали);
 l – длина заземлителя; a – расстояние между заземлителями; h – глубина заложения заземлителя; t – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя

Сопротивление растеканию одиночного вертикального заземлителя, расположенного на некоторой глубине в однородном грунте определяется по формуле

$$R_g = 0,366 \cdot \rho \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right) / l, \quad (11.1)$$

где R_g – сопротивление растеканию тока вертикального заземлителя, Ом;

l – длина заземлителя, м; d – диаметр заземлителя, м;

t – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, м;

ρ – расчётное удельное сопротивление грунта, Ом · м;

$$\rho = \psi_1 \cdot \rho_{изм} \quad (11.2)$$

где: $\rho_{изм}$ – измеренное удельное сопротивление грунта, Ом · м (таблица 11.2);

ψ_1 – коэффициент сезонности для вертикальных заземлителей, учитывающий увеличение удельного сопротивления грунта при его промерзании или высыхании (таблица 11.3).

Таблица 11.2 – Приближённые значения удельных сопротивлений грунтов и воды $\rho_{изм}$, Ом · м

Наименование грунтов	Пределы колебаний	Рекомендуемые для предварительных расчётов
Глина	8–70	40
Суглинок	40–150	100
Торф	10–30	20
Чернозём	10–50	20
Садовая земля	30–60	40
Песок	400–700	700
Супесок	150–400	300
Речная вода	10–80	50
Морская вода	0,2–1	1
Известняк пористый	150–200	200
Гравий, щебень	4000–7000	5000

Для заземлителей из уголкового стали в формулу (11.1) подставляют эквивалентный диаметр уголка:

$$d = d_{\text{экв}} = 0,95 \cdot c, \quad (11.3)$$

где c – ширина полки уголка, м; $d_{\text{экв}}$ – эквивалентный диаметр уголка, м.

Таблицы 11.3 – Признаки климатических зон и приближённые значения коэффициента ψ

Данные, характеризующие климатические зоны и тип применяемых контрольных электродов	Климатические зоны			
	1-я	2-я	3-я	4-я
1. Климатические признаки зон: - средняя многолетняя низшая температура (январь), °C : - средняя многолетняя высшая температура (июль), °C :	от -20 до -15 от +16 до +18	от -14 до -10 от +18 до +22	от -10 до 0 от +22 до +24	от 0 до +5 от +24 до +26
- среднегодовое количество осадков, см: - продолжительность замерзания вод, дней: 2. Значения коэффициентов, ψ : ψ_1 - при применении стержневых электродов длиной 2-3м и глубине заложения их вершины 0,5-0,8м: ψ_2 - при применении протяжных электродов и глубине заложения 0,8м:	~40 190–170 1,8–2 4,5–7,0	~50 ~150 1,5–1,8 3,5–4,5	~50 ~100 1,4–1,6 2,0–2,5	30-50 0 1,2–1,4 1,5–2,0

Примечание: Примерное распределение регионов по климатическим зонам:

1 зона – Архангельская, Кировская, Омская, Новосибирская области, Урал;

2 зона – Ленинградская, Вологодская области, центральные районы России;

3 зона – Новгородская, Смоленская, Брянская, Курская, Ростовская области;

4 зона – Краснодарский и Ставропольские края, Астраханская область.

Расчёты показывают, что сопротивление растеканию одного вертикального заземлителя значительно превышает допустимое значение.

Необходимое число заземлителей определяется по формуле:

$$n = \frac{R_{\text{з}}}{r_{\text{з}} \cdot \eta_{\text{з}}}, \quad (11.4)$$

где n – необходимое число вертикальных заземлителей, ед.; $r_{\text{з}}$ – допустимое сопротивление заземляющего устройства, Ом (таблица 11.1); $\eta_{\text{з}}$ – коэффициент использования вертикальных заземлителей, учитывающий взаимное экранирование (таблицы 11.4 и 11.5).

Сопротивление растеканию горизонтального полосового заземлителя $R_{\text{г}}$ определяется по формуле:

$$R_{\text{г}} = 0,366 \cdot \rho \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot L^2}{b \cdot h} \right) / L, \quad (11.5)$$

где L – длина полосы, м; b – ширина полосы (если заземлитель круглый, то $b=2 \cdot d$, где d – диаметр прутка), м; h – глубина заложения заземлителя, м; ρ – расчётное удельное сопротивление грунта, Ом·м.

$$\rho = \psi_2 \cdot \rho_{\text{изм}}, \quad (11.6)$$

где: ψ_2 – коэффициент сезонности для горизонтальных заземлителей (таблица 11.3).

Длина полосы определяется в зависимости от способа размещения заземлителей:

при размещении заземлителей в ряд по формуле:

$$L = a \cdot (n - 1), \quad (11.7)$$

при размещении заземлителей по контуру по формуле:

$$L = a \cdot n, \quad (11.8)$$

где $a = (1...3) \cdot l$ – расстояние между заземлителями, м.

Сопротивление заземляющего устройства R_{cl} с учётом сопротивлений растеканию вертикальных заземлителей и соединительных полос определяется по формуле:

$$R_{cl} = \frac{R_z \cdot R_g}{n \cdot R_g \cdot \eta_g + R_z \cdot \eta_z}, \quad (11.9)$$

где η_z – коэффициент использования соединительной горизонтальной полосы (таблицы 11.4 и 11.7).

Таблица 11.4 – Коэффициенты использования η_u соединительной полосы в ряду из труб или уголков.

Отношение расстояния между трубами (уголками) к их длине, a/l	Число труб (уголков) в ряду n							
	4	5	8	10	20	30	50	65
1	0,77	0,74	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21	0,20
2	0,89	0,86	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36	0,34
3	0,92	0,90	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49	0,47

Таблица 11.5 – Коэффициенты использования η_u заземлителей из труб или уголков, размещённых в ряд без учёта влияния полосы связи

Отношение расстояния между трубами (уголками) к их длине a/l	Число труб (уголков) n	Значение η_g
1	2	0,84–0,87
	3	0,76–0,80
	5	0,67–0,72
	10	0,56–0,62
	15	0,51–0,56
	20	0,47–0,50
1	2	3
	2	0,90–0,92
	3	0,85–0,88

2	5	0,79–0,83
	10	0,72–0,77
	15	0,66–0,73
	20	0,65–0,70
3	2	0,93–0,95
	3	0,90–0,92
	5	0,85–0,88
	10	0,79–0,83
	15	0,76–0,80
	20	0,74–0,79

Таблица 11.6 – Коэффициенты использования η_u заземлителей из труб или уголков, размещённых по контуру без учёта влияния полосы связи

Отношение расстояния между трубами (уголками) к их длине a/l	Число труб (уголков) n	Значение η_e
1	4	0,66–0,72
	6	0,58–0,65
	10	0,52–0,58
	20	0,44–0,50
	40	0,38–0,44
	60	0,36–0,42
	100	0,33–0,39
2	4	0,76–0,80
	6	0,71–0,75
	10	0,66–0,71
	20	0,61–0,66
	40	0,55–0,61
	60	0,52–0,58
	100	0,49–0,55
3	4	0,84–0,80
	6	0,78–0,82
	10	0,74–0,78
	20	0,68–0,73
	40	0,64–0,69
	60	0,62–0,67

Таблица 11.7 – Коэффициенты использования η_u соединительной полосы в контуре из труб или уголков.

Отношение расстояния между	Число труб (уголков) в ряду n

заземлителями к длине трубы a/l	4	6	8	10	20	30	50	70	100
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20	0,19
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24
3	0,70	0,64	0,60	0,60	0,45	0,41	0,37	0,35	0,33

Приведённая выше методика расчёта приемлема для расчёта заземляющих устройств любого назначения.

Исходные данные для расчёта заземляющего устройства

- 1 Характеристика электроустановки для определения допустимого значения заземляющего устройства.
- 2 Размеры вертикальных и горизонтальных заземлителей.
- 3 Наименование грунта и климатическая зона.
- 4 Способ размещения заземлителей (в ряд или по контуру).

Последовательность расчёта

- 1 Определяется допустимое сопротивление заземляющего устройства.
- 2 Определяется сопротивление растеканию вертикального заземлителя.
- 3 Определяется число вертикальных заземлителей.
- 4 Определяется длина соединительной полосы.
- 5 Определяется сопротивление растеканию горизонтальной соединительной полосы.
- 6 Определяется сопротивление сложного заземляющего устройства.
- 7 По результатам расчёта даётся заключение о соответствии сопротивления заземляющего устройства требованиям ПУЭ.

Пример расчёта: Рассчитать защитное заземление потребителей электрической энергии, питающихся от сети трёхфазного переменного тока с изолированной нейтралью (система IT).

Исходные данные:

- напряжение $U = 380/220$ В;
- мощность источника питания $S = 100$ кВ·А;
- заземлитель – труба диаметром $d = 0,06$ м, длиной $l = 3$ м;
- глубина заложения заземлителей $h = 0,8$ м;
- ширина соединительной полосы $b = 0,04$ м;
- грунт суглинок;
- климатическая зона 3;
- заземлители расположены по контуру.

1 Определяем нормированное значение сопротивления заземляющего устройства. В соответствии с требованиями ПУЭ (таблица 11.1) при напряжении до 1 кВ и мощности источника питания не более 100 кВ·А сопротивление защитного заземления принимаем $r_s = 10$ Ом.

2 Определяем сопротивление растеканию вертикального заземлителя по формуле 11.1:

$$R_g = 0,366 \cdot \rho \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right) / l$$

Расчётное удельное сопротивление грунта по формуле 11.2: $\rho = \psi_1 \cdot \rho_{изм}$.

Для суглинка по таблице 11.2 принимаем: $\rho_{изм} = 100$ Ом·м.

Коэффициент сезонности для вертикальных заземлителей, расположенных в 3-й климатической зоне, по таблице 11.3 принимаем:

$$\psi_1 = 1,5 \cdot \rho = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Расстояние от поверхности земли до середины заземлителя (рисунок 11.4):

$$t = h + 0,5 \cdot l ;$$

$$t = 0,8 + 0,5 \cdot 3 = 2,3 \text{ м};$$

$$R_g = 0,366 \cdot 150 \cdot \left(\lg \left(\frac{2 \cdot 3}{0,06} \right) + 0,5 \cdot \lg \left(\frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) \right) / 3 = 39,3 \text{ Ом.}$$

3 Определяем число заземлителей по формуле 11.4:

$$n = \frac{R_g}{r_3 \cdot \eta_g}$$

$$\text{Принимаем: } \eta_g = 1 \quad n = \frac{39}{10 \cdot 1} = 3,9 \text{ шт.}$$

Принимая $\frac{a}{l} = 2$ для заземлителей, расположенных по контуру, при

$n = 4$ по таблице 11.5 принимаем:

$$\eta_g = 0,75.$$

Уточняем расчётное значение числа заземлителей

$$n = \frac{39}{10 \cdot 0,75} = 5,2 \text{ шт,}$$

принимаем $n = 6$ при $\eta_g = 0,75$.

4 Определяем сопротивление растеканию соединительной горизонтальной полосы по формуле 11.5:

$$R_r = 0,366 \cdot \rho \cdot \lg(2L^2/b \cdot h) / L.$$

Длина соединительной полосы при расположении заземлителей по контуру по формуле 11.8

$$L = a \cdot n.$$

Расстояние между заземлителями при $\frac{a}{l} = 2$, $a = l \cdot 2$, $a = 3 \cdot 2 = 6 \text{ м.}$

$$L = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}$$

Расчётное удельное сопротивление грунта по формуле 11.6:

$$\rho = \psi_2 \cdot \rho_{изм}.$$

Коэффициент сезонности для горизонтальных протяжных заземлителей, расположенных в 3-й климатической зоне, по таблице 11.3 принимаем:

$$\psi_2 = 2,3;$$

$$\rho = 2,3 \cdot 100 = 230 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$R_r = 0,366 \cdot 230 \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 36^2}{0,04 \cdot 0,8} \right) / 36 = 11,5 \text{ Ом.}$$

5 Определяем сопротивление растеканию сложного заземляющего устройства по формуле 11.9:

$$R_{cl} = \frac{R_z \cdot R_g}{n \cdot R_g \cdot \eta_g + R_z \cdot \eta_z}$$

Коэффициент использования соединительной полосы, расположенной в контуре при $n = 6$ по таблице 11.7: $\eta_u = 0,48$;

$$R_{cl} = \frac{11,5 \cdot 39,3}{6 \cdot 11,5 \cdot 0,75 + 39,3 \cdot 0,48} = 6,4 \text{ Ом.}$$

1.6 Сопротивление растеканию сложного заземляющего устройства не превышает нормированного значения.

$$R_{cl} = 6,4 \text{ Ом} < r_3 = 10 \text{ Ом.}$$

Контрольные вопросы

- 1 С какой целью выполняется защитное заземление?
- 2 В электроустановках каких систем предусматривается защитное заземление?
- 3 Как расшифровывается система IT?
- 4 Поясните принцип действия защитного заземления.
- 5 Как нормируется сопротивление заземляющего устройства?
- 6 Что такое сопротивление растеканию тока?
- 7 Что учитывает коэффициент сезонности?
- 8 С какой целью в расчётах заземляющих устройств вводится коэффициент использования заземлителей?
- 9 Какие исходные данные необходимы для расчёта заземляющих устройств?
- 10 Последовательность расчёта заземляющего устройства.

Практическое занятие № 12

Защитное заземление

Цель работы: изучить назначение, принцип действия, область применения защитных заземлений и типы заземляющих устройств

Теоретическая часть

Назначение, принцип действия, область применения

Защитное заземление — 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 соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т. п.).

Эквивалентом земли может быть вода реки или моря, каменный уголь в карьерном залегании и т. п.

Назначение защитного заземления — устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и другим нетоковедущим металлическим частям, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.

Рабочее заземление — преднамеренное соединение с землей отдельных точек электрической цепи, например нейтральных точек обмоток генераторов, силовых и измерительных трансформаторов, дугогасящих аппаратов, реакторов поперечной компенсации в дальних линиях электропередачи, а также фазы при использовании земли в качестве фазного или обратного провода. Рабочее заземление предназначено для обеспечения надлежащей работы электроустановки в нормальных или аварийных условиях и осуществляется непосредственно (т. е. путем соединения проводником заземляемых частей с заземлителем) или через специальные аппараты — пробивные предохранители, разрядники, резисторы и т. п.

Заземление молниезащиты — преднамеренное соединение с землей молниеприемников и разрядников в целях отвода от них токов молнии в землю.

Принцип действия защитного заземления — снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус и другими причинами. Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования (уменьшением сопротивления заземлителя), а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования (подъемом потенциала основания, на котором стоит человек, до значения, близкого к значению потенциала заземленного оборудования).

Рассмотрим два случая. Корпус электроустановки не заземлен. В этом случае прикосновение к корпусу электроустановки также опасно, как и прикосновение к фазному проводу сети.

Корпус электроустановки заземлен (рисунок 12.1). В этом случае напряжение корпуса электроустановки относительно земли уменьшится и станет равным:

$$U_3 = I_3 \cdot R_3 \quad (12.1)$$

Напряжение прикосновения и ток через тело человека в этом случае будут определяться по формулам:

$$U_h = I_3 \cdot R_3 \cdot \alpha_1 \quad (12.2)$$

где α_1 — коэффициент напряжения прикосновения.

Уменьшая значение сопротивления заземлителя растеканию тока R_3 , можно уменьшить напряжение корпуса электроустановки относительно земли, в результате чего уменьшаются напряжение прикосновения и ток через тело человека.

Заземление будет эффективным лишь в том случае, если ток замыкания на землю I_3 практически не увеличивается с уменьшением сопротивления заземлителя. Такое условие выполняется в сетях с изолированной нейтралью (типа IT) напряжением до 1 кВ, так как в них ток замыкания на землю в

основном определяется сопротивлением изоляции проводов относительно земли, которое значительно больше сопротивления заземлителя (рисунок 12.1).

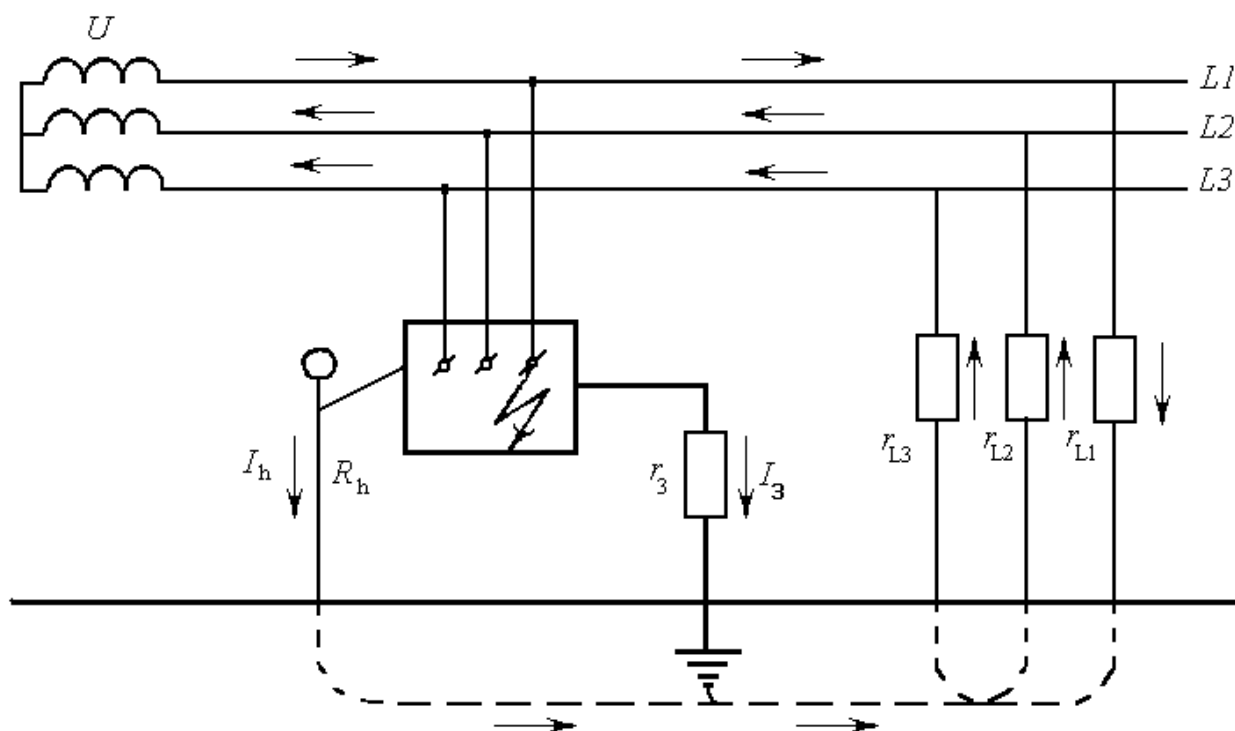


Рисунок 12.1 – Схема сети с изолированной нейтралью (типа *IT*) и защитным заземлением электроустановки

В сетях переменного тока с заземленной нейтралью напряжением до 1кВ защитное заземление в качестве основной защиты от поражения электрическим током при косвенном прикосновении не применяется, т.к. оно не эффективно (рисунок 12.2).

Область применения защитного заземления:

- электроустановки напряжением до 1 кВ в трехфазных трехпроводных сетях переменного тока с изолированной нейтралью (система *IT*);
- электроустановки напряжением до 1 кВ в однофазных двухпроводных сетях переменного тока, изолированных от земли;

- электроустановки напряжением до 1 кВ в двухпроводных сетях постоянного тока с изолированной средней точкой обмоток источника тока (система IT);
- электроустановки в сетях напряжением выше 1 кВ переменного и постоянного тока с любым режимом нейтрали или средней точки обмоток источников тока.

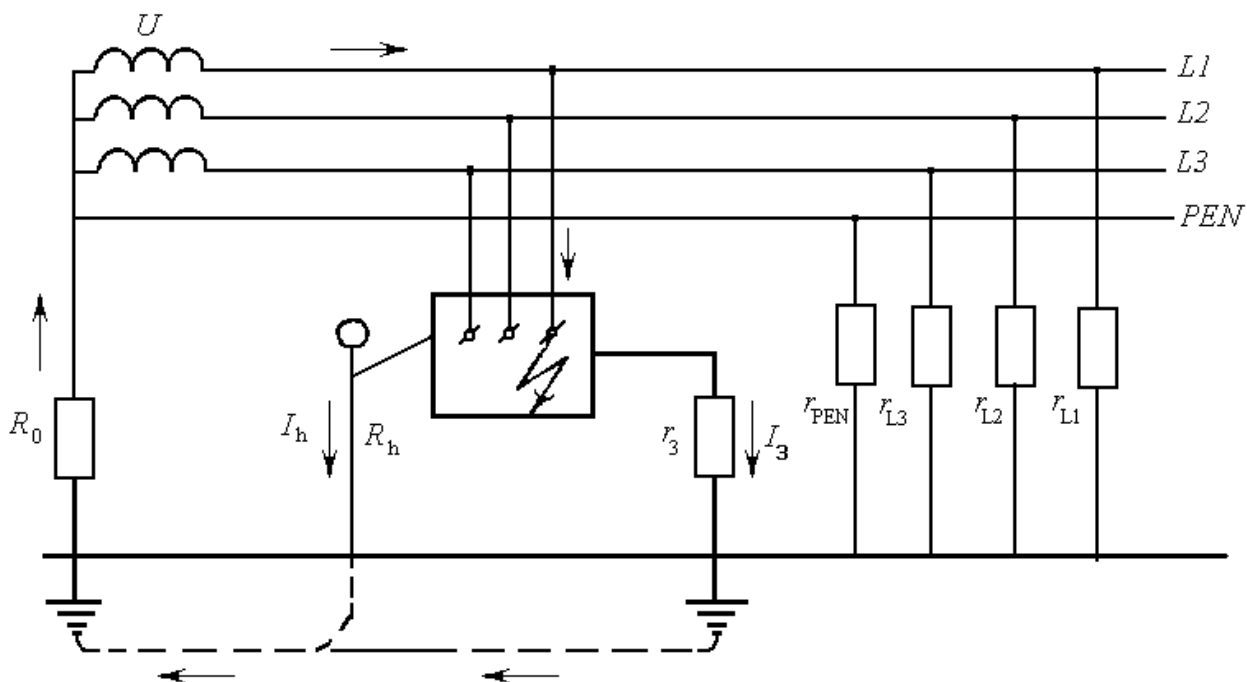


Рисунок 12.2 – Схема сети с заземленной нейтралью и защитным заземлением потребителя электроэнергии

Типы заземляющих устройств

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляемого оборудования различают два типа заземляющих устройств: выносное и контурное.

Выносное заземляющее устройство (рисунок 12.3) характеризуется тем, что заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование, или сосредоточен на некоторой части этой

площадки. Поэтому выносное заземляющее устройство называют также сосредоточенным.

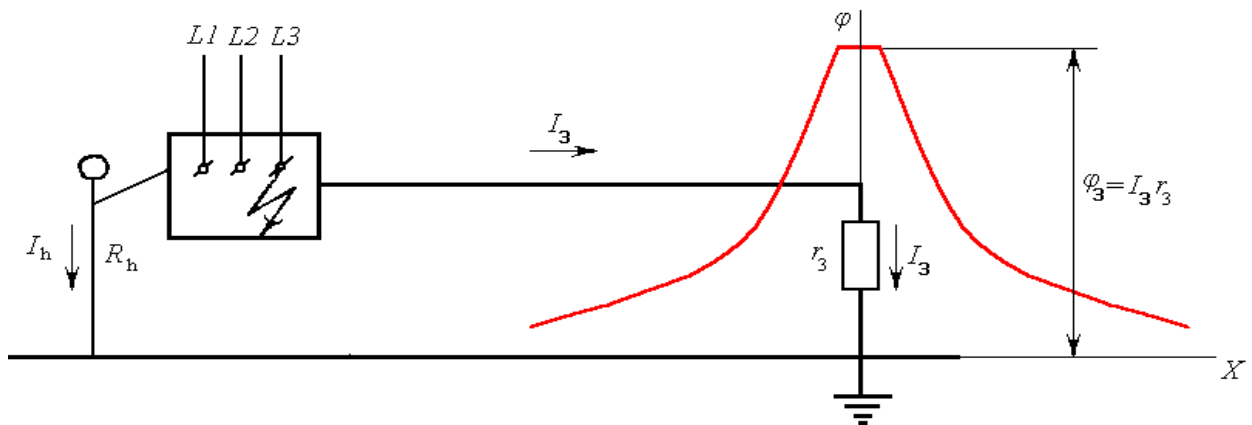


Рисунок 12.3 – Выносное заземляющее устройство

Существенный недостаток выносного заземляющего устройства – отдаленность заземлителя от защищаемого оборудования, вследствие чего на всей или на части защищаемой территории коэффициент прикосновения $\alpha_1=1$. Поэтому заземляющие устройства этого типа применяются лишь при малых токах замыкания на землю, в частности в установках до 1000 В, где потенциал заземлителя не превышает значения допустимого напряжения прикосновения $U_{np.дон}$ (с учетом коэффициента напряжения прикосновения, учитывающего падение напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек, α_2):

$$\varphi = I_3 r_3 \leq U_{np.дон}$$

где I_3 – ток, стекающий в землю через заземляющее устройство;

r_3 – сопротивление растеканию тока заземляющего устройства.

Кроме того, при большом расстоянии до заземлителя может значительно возрасти сопротивление заземляющего устройства в целом за счет сопротивления заземляющего проводника.

Достоинством выносного заземляющего устройства является возможность выбора места размещения электродов заземлителя с наименьшим сопротивлением грунта (сырой, глинистый, в низинах и т. п.).

Необходимость в устройстве выносного заземления может возникнуть в следующих случаях:

при невозможности по каким-либо причинам разместить заземлитель на защищаемой территории;

при высоком сопротивлении земли на данной территории (например, песчаный или скалистый грунт) и наличии вне этой территории мест со значительно лучшей проводимостью земли;

при рассредоточенном расположении заземляемого оборудования (например, в горных выработках) и т. п.

Контурное заземляющее устройство (рисунок 12.4) характеризуется тем, что электроды его заземлителя размещаются по контуру (периметру) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, а также внутри этой площадки. Часто электроды распределяются на площадке по возможности равномерно, и поэтому контурное заземляющее устройство называется также распределенным.

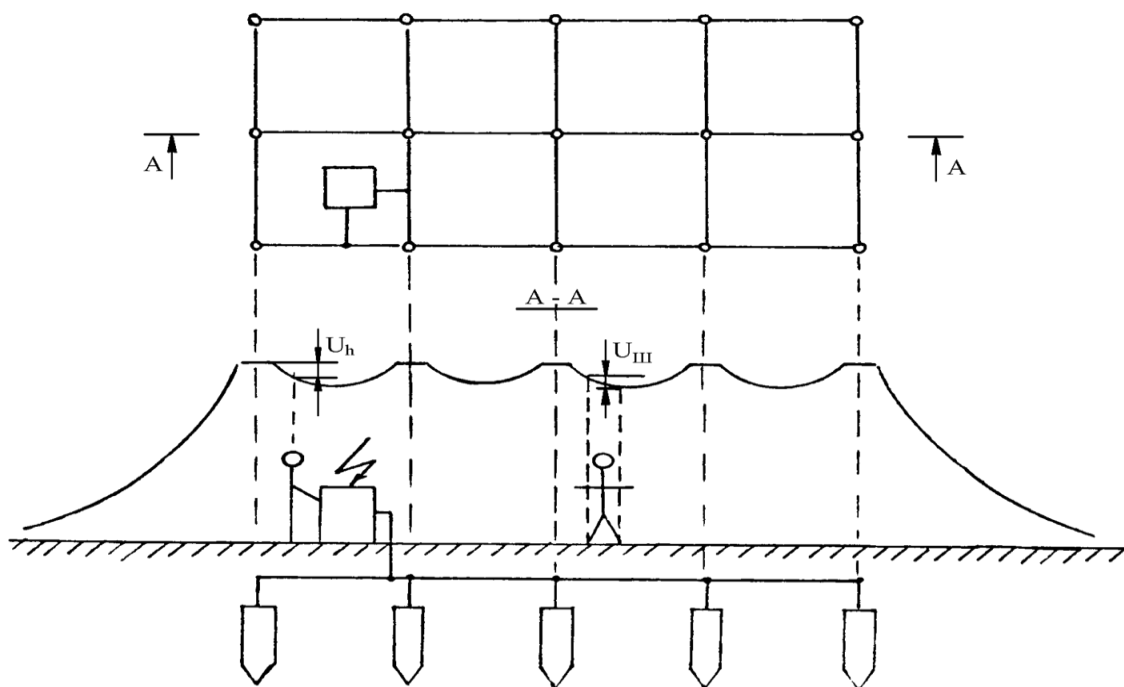


Рисунок 12.4 – Контурное заземляющее устройство

Безопасность при распределенном заземляющем устройстве может быть обеспечена не только уменьшением потенциала заземлителя, но и выравниванием потенциалов на защищаемой территории до таких значений, чтобы максимальные напряжения прикосновения и шага не превышали допустимых. Это достигается за счет соответствующего размещения одиночных заземлителей на защищаемой территории.

Пример 1

В сети типа IT ($U_n = 380$ В) произошло замыкание двух различных фаз на два отдельно заземленных корпуса. Заземлитель первого корпуса имеет полусферическую форму с радиусом $r = 0,2$ м и расположен на поверхности земли. Человек одной ногой стоит на этом заземлителе. Расстояние до второго заземлителя более 30 м.

Определить напряжение шага $U_{ш}$ и ток I_h , протекающий через человека, если сеть короткая, $R_{L1}=R_{L2}=R_{L3}= 40$ кОм; $R_{31}= 4$ Ом; $R_{32}= 6$ Ом; $R_h=1$ кОм; шаг человека, $a= 0,8$ м; $b_2=0,5$.

Решение:

При замыкании двух различных фаз сети IT на два отдельно заземленных корпуса (например, см. рисунок 12.5) значение тока I_3 , стекающего в землю, практически не зависит от значений сопротивления изоляции фаз относительно земли и определяется как

$$I_3 = \frac{U_n}{R_{31} + R_{32}} = \frac{380}{4 + 6} = 38 \text{ А}$$

При этом потенциал заземлителя первого корпуса составит

$$\varphi_3 = I_3 \cdot R_3 = 38 \cdot 4 = 152 \text{ В}$$

$$U_{ш} = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \varphi_3$$

где β_1 – коэффициент напряжения шага, учитывающий форму потенциальной кривой.

Поскольку человек стоит одной ногой на полусферическом заземлителе, в данном случае $x = r$, и β_1 можно рассчитать следующим образом

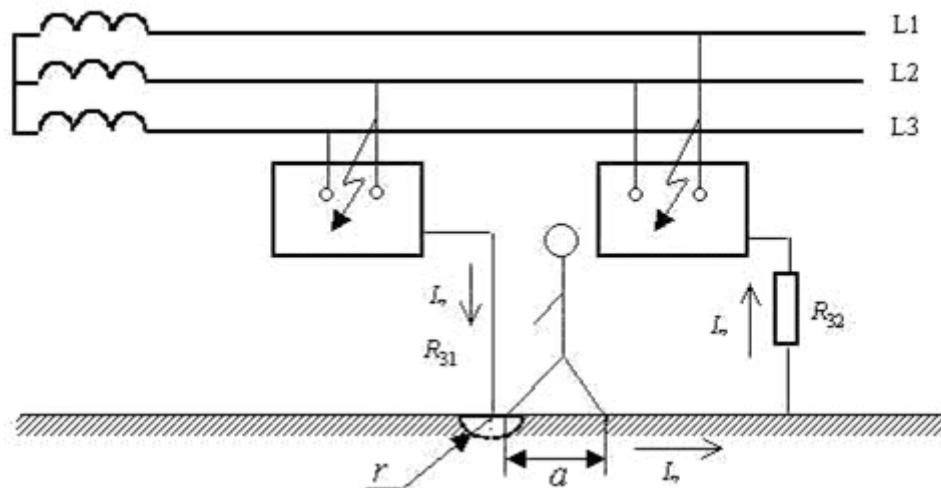


Рисунок 12.5 – Замыкание двух различных фаз на два отдельно заземленных корпуса

В общем случае напряжения шага с учетом формы потенциальной кривой и сопротивления основания растеканию току определяется как

$$\beta_1 = r \cdot a / x(x+a) = a / r+a = 0.8 / 0.2+0.8 = 0.8$$

Коэффициент, учитывающий сопротивление основания растеканию тока, $\beta_2 = 0,5$ по условиям задачи.

Поэтому искомое значение напряжения шага

$$U_{ш} = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 152 = 60,8 \text{ В}$$

а ток, протекающий через тело человека,

$$I_h = \frac{U_h}{R_h} = \frac{60,8}{1000} = 60,8 \text{ мА}.$$

Ответ задачи: $U_{ш}=60,8 \text{ В}; I_h = 60,8 \text{ мА}.$

Пример 2

Потребитель электроэнергии подключен к сети типа IT, произошло замыкание одного из фазных проводов на заземленный корпус.

При каком значении сопротивления изоляции напряжение прикосновения человека, касающегося заземленного корпуса, равно длительно допустимому значению.

Дано: $U_{\text{л}}=380 \text{ В}$; $R_{\text{Л1}}= R_{\text{Л2}}= R_{\text{Л3}}= R$; $R_{\text{н}}=1 \text{ кОм}$; $R_3=4 \text{ Ом}$; сеть короткая; $\alpha_1= \alpha_2= 1$.

Решение:

В данном случае значение тока I_3 , стекающего в землю через заземлитель, зависит от значений сопротивления изоляции фаз относительно земли (см. рисунок 12.6) определяется как

$$I_3 = \frac{U_{\phi}}{R_3 + \frac{R}{3}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot \left(R_3 + \frac{R}{3} \right)}.$$

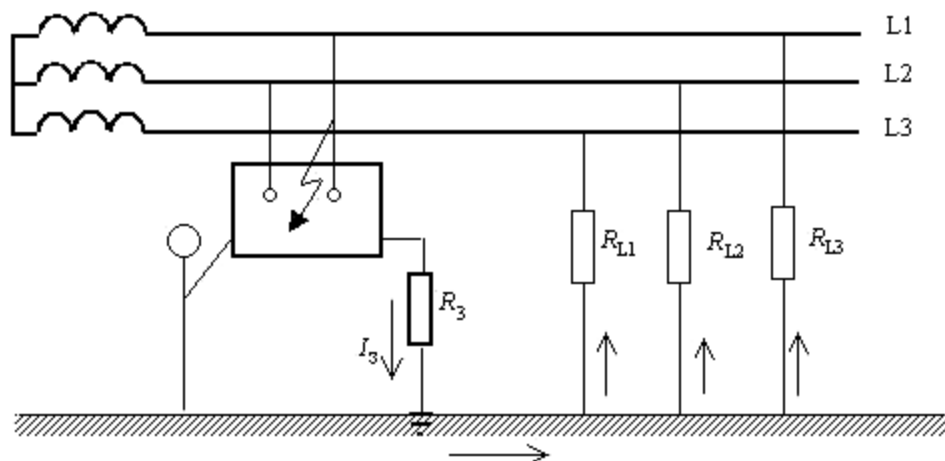


Рисунок 12.6 – Замыкание фазы сети IT на заземленный корпус

Значение напряжения прикосновения человека, касающегося заземленного корпуса, равно в данном случае значению потенциала на заземлителе

$$U_h = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \varphi_3 = \varphi_3 = I_3 \cdot R_3,$$

По условиям задачи значение напряжения прикосновения может равняться длительно допустимому значению $U_{\text{д.доп}}$, т.е.

$$I_3 \cdot R_3 = U_{\text{д.доп}},$$

Из полученного уравнения определяем искомые значения сопротивлений изоляции фаз

$$\frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3} \cdot \left(R_3 + \frac{R}{3} \right)} \cdot R_3 = U_{\text{д.доп}},$$

$$U_{\text{л}} \cdot R_3 = U_{\text{д.доп}} \cdot \sqrt{3} \cdot \left(R_3 + \frac{R}{3} \right),$$

$$U_{\text{л}} \cdot R_3 - U_{\text{д.доп}} \cdot \sqrt{3} \cdot R_3 = U_{\text{д.доп}} \cdot R_3 \cdot \frac{R}{3},$$

$$R = \frac{R_3 \cdot \sqrt{3}}{U_{\text{д.доп}}} \cdot \left(U_{\text{л}} - \sqrt{3} \cdot U_{\text{д.доп}} \right).$$

Подставив в последнее выражение значение длительно допустимого напряжения $U_{\text{д.доп}} = 36 \text{ В}$, получим искомое значение сопротивления изоляции фаз.

$$R = \frac{4 \cdot \sqrt{3}}{3} (380 - \sqrt{3} \cdot 36) = 63,3 \text{ Ом}.$$

Ответ задачи: при $R_{\text{Л1}} = R_{\text{Л2}} = R_{\text{Л3}} = R = 61,3 \text{ Ом}$

Примечание. При полученном значении сопротивления изоляции (значительно меньшем реального значения) наличие защитного заземления обеспечивает безопасность при замыкании на корпус в сети IT.

Задача 1

Определить значение тока I_h и напряжение прикосновения U_h , если человек прикоснулся к заземленному корпусу электроустановки (рисунок 12.7), на который произошло замыкание фазного провода $L1$ сети типа IT (линейное напряжение – 380 В), а фазный провод $L3$ замкнулся на землю (аварийный режим сети).

Дано: $R_3 = 4 \text{ Ом}$, $R_{\text{зм}} = 34 \text{ Ом}$, $R_{\text{Л1}} = R_{\text{Л2}} = R_{\text{Л3}} = R = 20 \text{ кОм}$; человек находится на расстоянии 40 м от заземлителя; $R_h = 1 \text{ кОм}$; $R_{\text{очн}} = 1 \text{ кОм}$; сеть короткая.

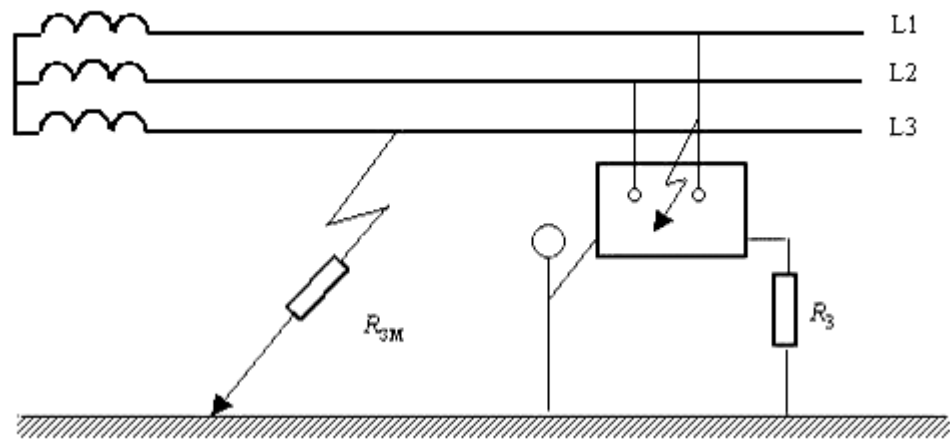


Рисунок 12.7 – Замыкание двух различных фаз на землю и заземленный корпус

Ответ задачи: $I_h = 20$ мА.

Задача 2

Определить значение тока через тело человека, если человек прикоснулся к заземленному корпусу электроустановки, на который произошло замыкание одного из фазных проводов сети типа *TN – C* (380/220 В) (рисунок 12.8).

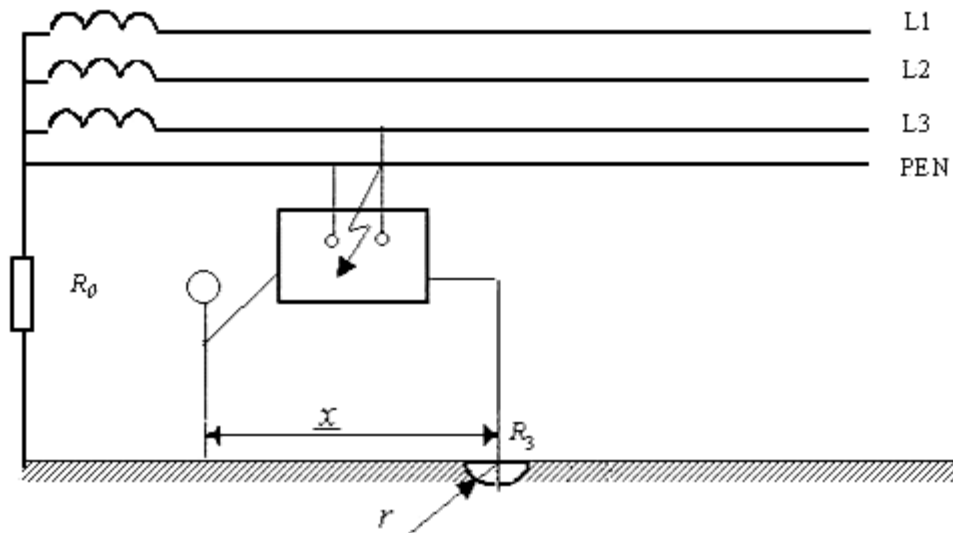


Рисунок 12.8 – Замыкание фазы на заземленный корпус в сети *TN - C*

Дано: $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R = 30$ кОм; сеть короткая; $R_h = 1$ кОм; $R_0 = 4$ Ом; $R_3 = 2$ Ом. Заземлитель полушаровой с радиусом $r = 0,4$ м; человек стоит на земле на расстоянии $x = 2$ м от заземлителя; $R_{очн} = 9$ кОм. Оценить опасность поражения человека током, используя первичные критерии электробезопасности.

Ответ задачи: $I_h=5,9$ мА.

Вопросы к практическому занятию

1. Дайте определение защитного заземления.
2. Принцип действия защитного заземления?
3. Область применения защитного заземления?
4. Перечислите типы заземляющих устройств.
5. Перечислите достоинства и недостатки заземляющих устройств.

Практическое занятие № 13

Защитное зануление

Цель работы: изучить назначение, принцип действия, область применения и расчет защитного зануления

Теоретическая часть

Назначение, принцип действия, область применения. 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 (PE – 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:

- 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);
- электроустановки напряжением до 1 кВ в однофазных сетях переменного тока с заземленным выводом;
- 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 (рисунок 13.1) 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.

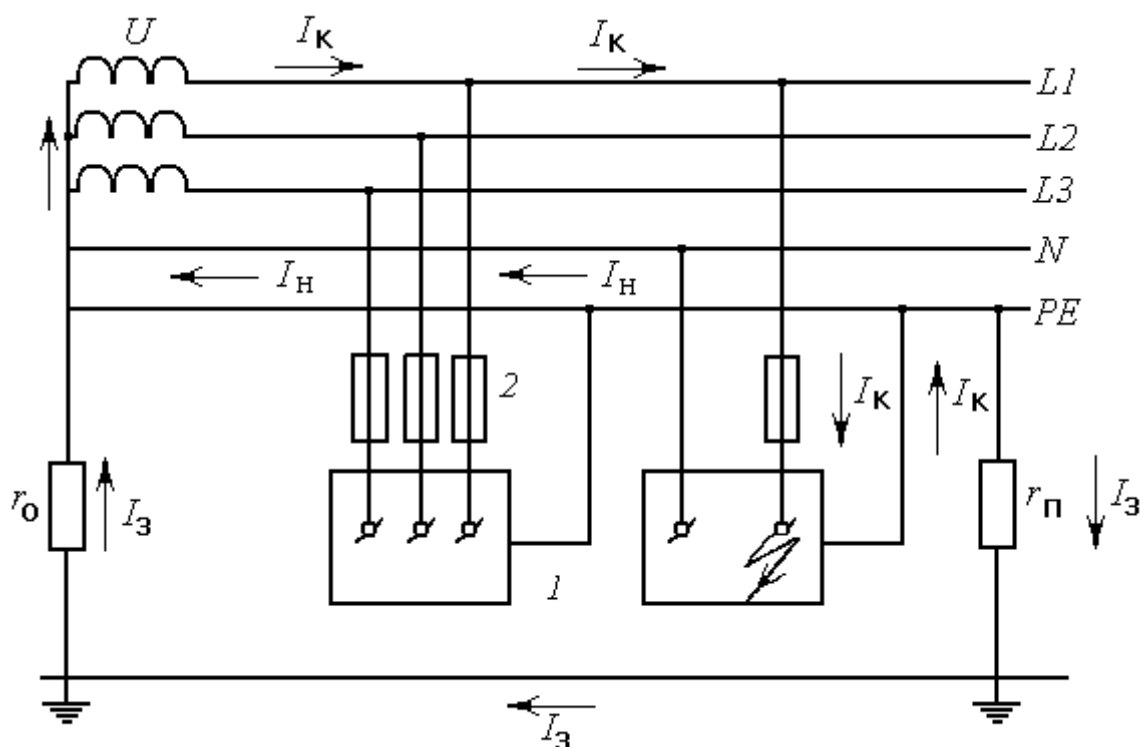


Рисунок 13.2 – Принципиальная схема зануления в системе $TN - S$

1 – корпус электроустановки (электродвигатель, трансформатор и т. п.); 2 – аппараты защиты от токов КЗ (предохранители); R_0 – сопротивление заземления нейтрали обмотки источника тока; $R_{П}$ – сопротивление повторного заземления нулевого защитного проводника; I_K – ток КЗ; I_H – часть тока КЗ, протекающего через нулевой защитный проводник; I_3 – часть тока КЗ, протекающего через землю

Следовательно, зануление обеспечивает защиту от поражения электрическим током при замыкании на корпус за счет ограничения времени прохождения тока через тело человека и за счет снижения напряжения прикосновения.

В качестве максимальной токовой защиты, обеспечивающей быстрое отключение электроустановки в аварийном режиме могут использоваться плавкие предохранители и автоматические выключатели, устанавливаемые для защиты от токов короткого замыкания, магнитные пускатели со встроенной тепловой защитой, контакторы в сочетании с тепловыми реле,

осуществляющие защиту от перегрузки, автоматы с комбинированными расцепителями, осуществляющие защиту одновременно от токов короткого замыкания и перегрузки и др.

Назначение отдельных элементов схемы зануления. Из рисунка 2.2 видно, что для схемы зануления необходимы нулевой защитный проводник, глухое заземление нейтрали источника тока и повторное заземление нулевого защитного проводника.

Рассмотрим назначение этих элементов применительно к наиболее распространенным электрическим сетям – трехфазным переменного тока.

Назначение нулевого защитного проводника в схеме зануления – обеспечить необходимое для отключения установки значение тока однофазного короткого замыкания путем создания для этого тока цепи с малым сопротивлением.

Назначение заземления нейтрали обмоток источника тока, питающего сеть до 1 кВ, предназначено для снижения напряжения зануленных открытых проводящих частей (а следовательно, нулевого защитного проводника) относительно земли до допустимого значения при замыкании фазного провода на землю.

Повторное заземление нулевого защитного проводника практически не влияет на время отключения электроустановки от сети. Однако, при эксплуатации зануления могут возникнуть такие ситуации, когда повторное заземление нулевого защитного проводника необходимо, например, при обрыве нулевого защитного проводника. При применении системы *TN* рекомендуется выполнять повторное заземление *PE* – и *PEN* – проводников на вводе в электроустановки зданий, а также в других доступных местах. Для повторного заземления нулевых защитных проводников следует в первую очередь использовать естественные заземлители. В этом случае сопротивление растеканию тока заземлителя повторного заземления не нормируется. Внутри больших и многоэтажных зданий аналогичную функцию

выполняет уравнивание потенциалов посредством присоединения нулевого защитного проводника к главной заземляющей шине.

Повторному заземлению подвергаются нулевые рабочие провода воздушных линий, которые одновременно используются как нулевые защитные проводники (*PEN* – проводники). При этом в соответствии с ПУЭ повторные заземления выполняются на концах линий или ответвлений длиной более 200 м. При этом в первую очередь следует использовать естественные заземлители, например, подземные части опор, а также заземляющие устройства, предназначенные для грозовых перенапряжений.

Надежность зануления определяется в основном надежностью нулевого защитного проводника. В связи с этим требуется тщательная прокладка нулевого защитного проводника, чтобы исключить возможность его обрыва. Кроме того, в нулевом защитном проводнике запрещается ставить выключатели, предохранители и другие приборы, способные нарушить его целостность.

При соединении нулевых защитных проводников между собой должен обеспечиваться надежный контакт. Присоединение нулевых защитных проводников к частям электроустановок, подлежащих занулению, осуществляется сваркой или болтовым соединением, причем, значение сопротивления между зануляющим болтом и каждой доступной прикосновению металлической нетоковедущей частью электроустановки, которая может оказаться под напряжением, не должно превышать 0,1 Ом. Присоединение должно быть доступно для осмотра.

Нулевые защитные провода и открыто проложенные нулевые защитные проводники должны иметь отличительную окраску: по зеленому фону желтые полосы.

В процессе эксплуатации зануления сопротивление петли “фаза-нуль” может меняться, следовательно, необходимо периодически контролировать значение этого сопротивления. Измерения сопротивления петли “фаза-нуль” проводят как после окончания монтажных работ, то есть при приемо-

сдаточных испытаниях, так и в процессе эксплуатации в сроки, установленные в нормативно технической документации, а также при проведении капитальных ремонтов и реконструкций сети.

Расчет зануления имеет целью определить условия, при которых оно надежно выполняет возложенные на него задачи быстро отключает поврежденную установку от сети и в то же время обеспечивает безопасность прикосновения человека к зануленному корпусу в аварийный период. В соответствии с этим зануление рассчитывают на отключающую способность. При этом в соответствии с ПУЭ должны выполняться следующие требования.

В системе TN время автоматического отключения питания не должно превышать значений, указанных в таблице 13.1.

Таблица 13.1 – Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения питания

Номинальное фазное напряжение U , В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

Приведенные в таблице 13.1 значения времени отключения питания считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе и в групповых цепях, питающих передвижные и переносные электроприемники и ручной электроинструмент класса I .

В цепях, питающих распределительные, групповые, этажные и другие щиты и щитки, время отключения не должно превышать 5 с.

Допускаются значения времени отключения более указанных в таблице 13.1, но не более 5с в цепях, питающих только стационарные

электроприемники от распределительных щитков или щитов при выполнении одного из следующих условий:

1) полное сопротивление защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком не превышает значения, Ом

$$50 \cdot Z_{\Sigma} / U$$

где Z_{Σ} – полное сопротивление цепи “фаза – нуль”, Ом;

U – номинальное фазное напряжение сети, В;

50 – падение напряжения на участке защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком, В.

2) к шине PE распределительного щита или щитка присоединена дополнительная система уравнивания потенциалов, охватывающая те же сторонние проводящие части, что и основная система уравнивания потенциалов.

Расчет зануления на отключающую способность заключается в определении параметров нулевого защитного проводника (длина, сечение, материал) и максимальной токовой защиты, при которых ток однофазного короткого замыкания, возникающий при замыкании фазного провода на зануленный корпус, вызвал бы срабатывание максимальной токовой защиты за время, указанное в таблице 13.1.

Пример 1

Человек прикоснулся к зануленному корпусу потребителя электроэнергии, питающегося от сети типа $TN-S$ напряжением 380/220 В (рисунок 13.3). При каком соотношении сечений фазного и PE проводников напряжение прикосновения будет равно длительно допустимому при времени срабатывания максимальной токовой защиты 1с?

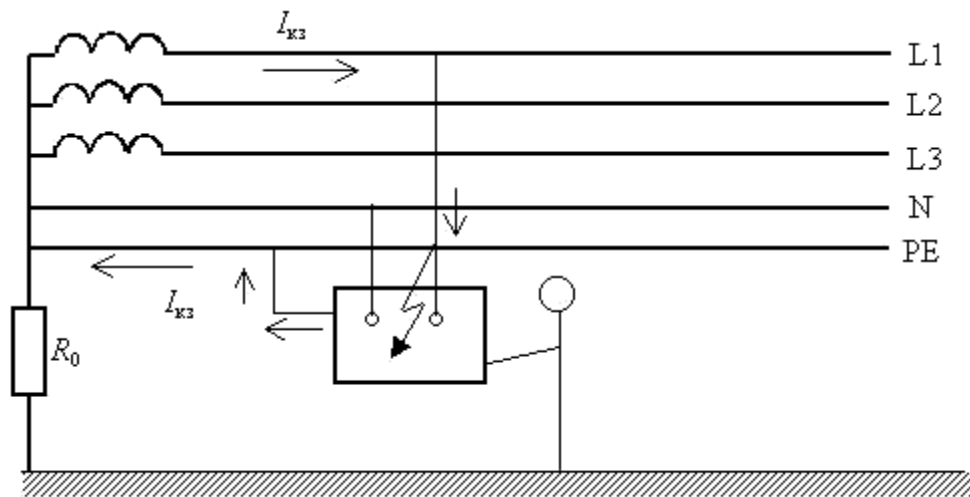


Рисунок 13.3 – Замыкание фазы сети *TN - S* на зануленный корпус

При решении задачи считать, что материал фазного и защитного проводников одинаков, а повторное заземление *PE* – проводника отсутствует.

Решение:

Известно, что сопротивление участка фазного провода до места замыкания на корпус можно определить по формуле:

$$R_{L1} = \rho \cdot l / S_{L1}$$

Аналогично, сопротивление участка *PE* – проводника до места замыкания на корпус можно определить по формуле:

$$R_{PE} = \rho \cdot l / S_{PE}$$

При этом предполагается, что материал фазного и *PE* – проводника одинаков.

При замыкании фазного провода на зануленный корпус возникает ток короткого замыкания, который можно определить по упрощенной формуле:

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{R_{L1} + R_{PE}}.$$

При этом напряжение корпуса относительно земли, под действие которого попадает человек при прикосновении к корпусу, определяется как:

$$U_{\kappa} = \frac{U_{\phi}}{1 + \frac{R_L}{R_{PE}}}.$$

Учитывая, что при прочих одинаковых параметрах проводов

$$\frac{R_{L1}}{R_{PE}} = \frac{S_{PE}}{S_{L1}},$$

а допустимое напряжение прикосновения при заданном времени срабатывания 1с будет равно 50 В, можно определить требуемое соотношение сечений фазного и РЕ – проводов:

$$50 = \frac{220}{1 + \frac{S_{PE}}{S_{L1}}},$$

$$\frac{S_{PE}}{S_{L1}} = 3,4.$$

Ответ задачи: $S_{PE} / S_{L1} = 3,4$.

Пример 2

Два зануленных потребителя электроэнергии питаются от одной сети типа $TN - S$ напряжением 380/220 В. Произошло замыкание фазного провода на корпус второго потребителя, а в это время человек касается корпуса первого потребителя электроэнергии (см. рисунок 13.4).

Определить ток, протекающий через тело человека, прикоснувшегося к корпусу первого потребителя электроэнергии, при условии, что $R_{L1} = R_{PE(2)} = 0,2 \text{ Ом}$, $R_0 = R_{II} = 3 \text{ Ом}$, $l_{K1} = 0,3l_{K2}$.

Решение:

Сопротивления участков РЕ проводника до первого и до второго корпусов можно определить по формулам:

$$R_{PE(1)} = \rho \cdot l_{K1} / S_{PE} \quad R_{PE(2)} = \rho \cdot l_{K2} / S_{PE}$$

Если учесть, что $l_{K1} = 0,3 \cdot l_{K2}$, то $R_{PE(1)} = 0,3 \cdot R_{PE(2)}$.

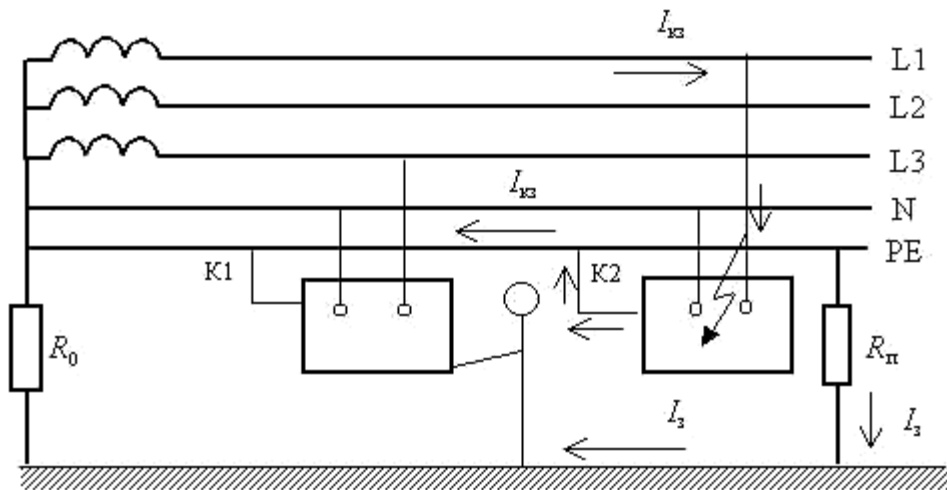


Рисунок 13.4 – Замыкание фазы сети *TN - S* на один из зануленных корпусов при наличии повторного заземления PE провода

При замыкании фазного провода на корпус второго потребителя электроэнергии возникает ток короткого замыкания, который можно рассчитать следующим образом:

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{R_{L1} + R_{PE(2)}} = \frac{220}{0,4} = 550 \text{ мА}.$$

Ток замыкания на землю, стекающий через повторное заземление, определяется как:

$$I_z = \frac{I_{кз} \cdot R_{PE(2)}}{R_0 + R_{п}} = \frac{110}{6} = 18,3 \text{ А}.$$

При этом значение напряжения нулевой точки относительно земли составит:

$$U_0 = I_z \cdot R_0 = 18,3 \cdot 3 = 55 \text{ В}.$$

Значение напряжения прикосновения для человека, прикоснувшегося к первому корпусу, будет равно значению напряжения на этом корпусе относительно земли, которое можно определить из выражения:

$$U_{K1} = U_0 = I_{кз} \cdot R_{PE(1)} = 55 - 550 \cdot 0,2 \cdot 0,3 = 22 \text{ В}.$$

В итоге искомое значение тока через тело человека, прикоснувшегося к первому корпусу, составит:

$$I_h = \frac{U_{K1}}{R_h} = \frac{22,0}{1} = 22 \text{ мА}.$$

Ответ задачи: $I_h = 22 \text{ мА}$

Задача 1

На зануленный корпус электроустановки произошло замыкание фазного провода трехфазной сети типа *TN-S* напряжением 380/220 В.

Требуется определить, при каком значении сопротивления повторного заземления нулевого защитного проводника (*РЕ* - провода) напряжение прикосновения для человека, касающегося указанного корпуса, не будет превышать допустимого при времени срабатывания защиты $t = 1 \text{ с}$.

Дано: сопротивление заземления нейтрали питающего трансформатора $R_O = 4 \text{ Ом}$, сопротивление провода на участке от трансформатора до места замыкания фазного $R_\phi = 0,2 \text{ Ом}$, сопротивление нулевого провода $R_{PE} = 0,4 \text{ Ом}$; человек находится на расстоянии более 20 м от заземлителей нейтрали трансформатора и *РЕ*-провода; сопротивление изоляции и емкости проводов относительно земли равны соответственно бесконечности и нулю; сопротивление основания, на котором стоит человек, и сопротивление его обуви равны нулю.

Ответ задачи: $R_{\Pi} = 2,07 \text{ Ом}$.

Задача 2

От сети типа *TN - C* (380/220 В) запитываются три потребителя электроэнергии, корпуса которых занулены. Открытые проводящие части подсоединяются к *PEN*-проводнику на расстоянии 100, 200 и 400 м от нейтральной точки соответственно. *PEN*-проводник медный ($\rho = 0,018 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$) сечением 20 мм². Произошло замыкание на корпус 3. Повторное заземление отсутствует. Два человека касаются 1 и 2 корпусов. Оценить опасность прикосновения для каждого, если известно, что автомат максимальной токовой защиты отключился через 1 сек.

Дано: $R_{h1} = R_{h2} = 1 \text{ кОм}$, $R_{\phi} = 0,1 \text{ Ом}$ - сопротивление фазного провода до 3 корпуса.

Ответ задачи: $I_{h1} = 43,1 \text{ мА}$; $I_{h2} = 86,2 \text{ мА}$.

Вопросы к практическому занятию

1. Дайте определение защитного зануления.
2. Принцип действия защитного зануления?
3. Область применения защитного зануления?
4. Как определяется надежность зануления?
5. Требования ПУЭ к системе автоматического отключения.

Практическое занятие № 14

Защитное отключение

Цель работы: изучить назначение, принцип действия, область применения защитного отключения

Теоретическая часть

Назначение, принцип действия, область применения

Защитным отключением называется автоматическое отключение электроустановок при однофазном (однополюсном) прикосновении к частям, находящимся под напряжением, недопустимым для человека, и (или) при возникновении в электроустановке тока утечки (замыкания), превышающего заданные значения.

Назначение защитного отключения - обеспечение электробезопасности, что достигается за счет ограничения времени воздействия опасного тока на человека. Защита осуществляется специальным устройством защитного отключения (УЗО), которое, работая в дежурном режиме, постоянно контролирует условия поражения человека электрическим током.

Область применения: электроустановки в сетях с любым напряжением и любым режимом нейтрали.

Наибольшее распространение защитное отключение получило в электроустановках, используемых в сетях напряжением до 1 кВ с заземленной или изолированной нейтралью.

Принцип работы УЗО состоит в том, что оно постоянно контролирует входной сигнал и сравнивает его с наперед заданной величиной (уставкой). Если входной сигнал превышает уставку, то устройство срабатывает и отключает защищенную электроустановку от сети. В качестве входных сигналов устройств защитного отключения используют различные параметры электрических сетей, которые несут в себе информацию об условиях поражения человека электрическим током.

Все УЗО по виду входного сигнала классифицируют на несколько типов (рисунок 14.1).

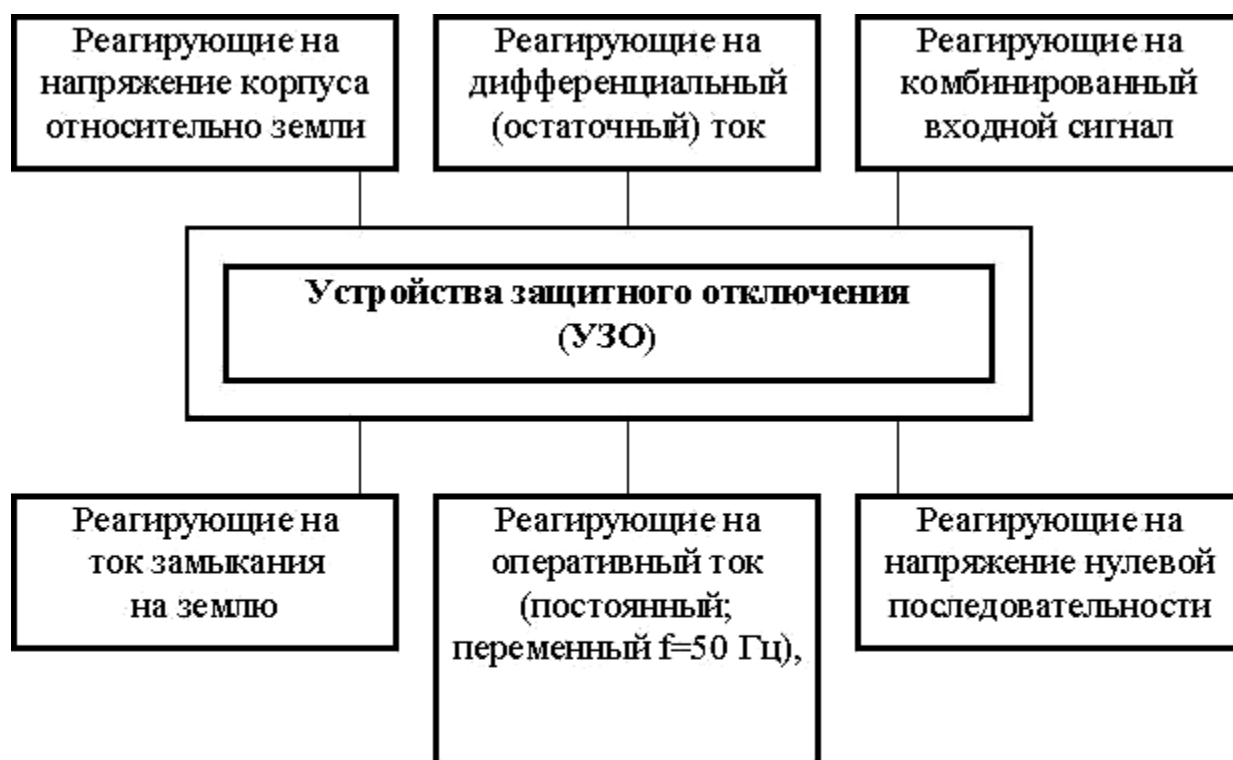


Рисунок 14.1 – Классификация УЗО по виду входного сигнала

Кроме того, УЗО могут классифицироваться по другим критериям, например, по конструктивному исполнению.

Основными элементами любого устройства защитного отключения являются датчик, преобразователь и исполнительный орган.

Основными параметрами, по которым подбирается то или иное УЗО являются: номинальный ток нагрузки, т.е. рабочий ток электроустановки, который протекает через нормально замкнутые контакты УЗО в дежурном режиме; номинальное напряжение; уставка; время срабатывания устройства.

Рассмотрим более подробно УЗО, реагирующее на потенциал корпуса относительно земли, предназначенное для обеспечения безопасности при возникновении на заземленном (или зануленном) корпусе электроустановки повышенного потенциала. Датчиком в этом устройстве (рисунок 14.2) служит

реле P , обмотка которого включена между корпусом электроустановки и вспомогательным заземлителем R_6 . Электроды вспомогательного заземлителя R_6 располагаются вне зоны растекания токов заземлителя R_3 .

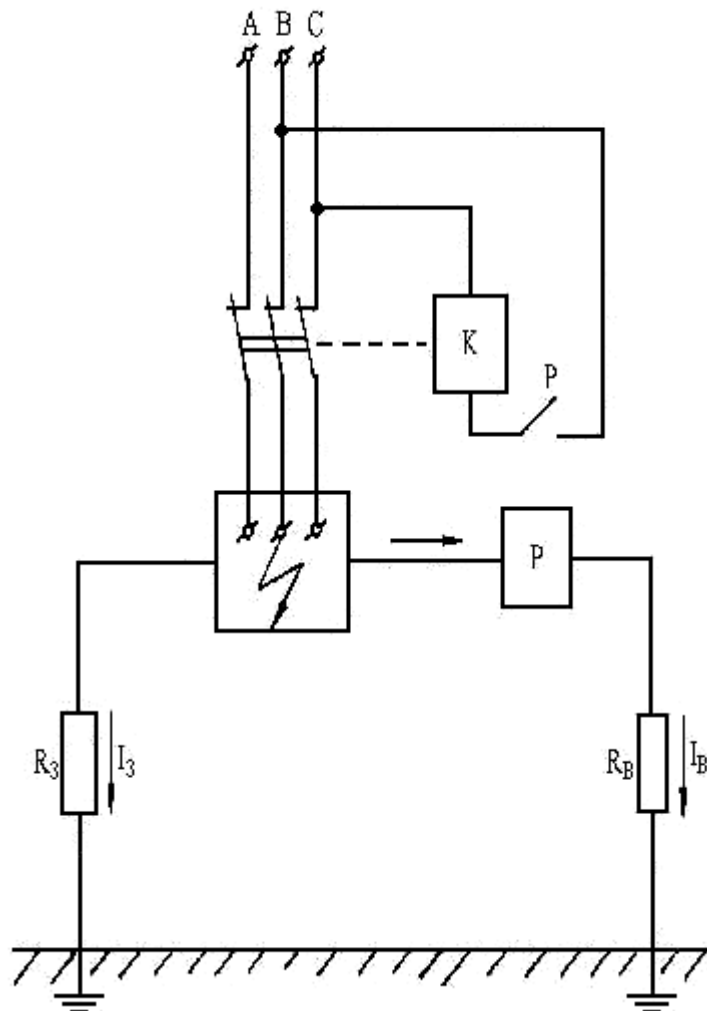


Рисунок 14.2 – Схема УЗО, реагирующего на потенциал корпуса

При замыкании на корпус защитное заземление R_3 снизит потенциал корпуса относительно земли до величины $j_3 = I_3 \cdot R_3$. Если по каким-либо причинам окажется, что $j_3 > j_{\text{доп}}$, где $j_{\text{доп}}$ - потенциал корпуса, при котором напряжение прикосновения не превышает допустимого, то срабатывает реле P , которое своими контактами замкнет цепь питания катушки коммутационного аппарата и произойдет отключение поврежденной электроустановки от сети.

Фактически данный тип УЗО дублирует защитные свойства заземления или зануления и применяется в качестве дополнительной защиты, повышая надежность заземления или зануления.

Данный тип УЗО может применяться в сетях с любым режимом нейтрали, когда заземление или зануление неэффективно.

УЗО, реагирующее на дифференциальный (остаточный) ток, находят широкое применение во всех отраслях промышленности. Характерной их особенностью является многофункциональность. Такие УЗО могут осуществлять защиту человека от поражения электрическим током при прямом прикосновении, при косвенном прикосновении, при несимметричном снижении изоляции проводов относительно земли в зоне защиты устройства, при замыканиях на землю и в других ситуациях.

Принцип действия УЗО дифференциального типа заключается в том, что оно постоянно контролирует дифференциальный ток и сравнивает его с уставкой. При превышении значения дифференциального тока уставки УЗО срабатывает и отключает аварийный потребитель электроэнергии от сети. Входным сигналом для трехфазных УЗО является ток нулевой последовательности. Входной сигнал УЗО функционально связан с током, протекающим через тело человека I_h .

Область применения УЗО дифференциального типа – сети с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ (система $TN - S$).

Схема включения УЗО, реагирующего на дифференциальный ток в сети с заземленной нейтралью типа $TN - S$ представлена на рисунке 14.3.

Датчиком такого устройства является трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП), на выходных обмотках которого формируется сигнал, пропорциональный току через тело человека I_h . Преобразователь УЗО (П) сравнивает значение входного сигнала с уставкой, значение которой

определяется допустимым током через человека, усиливает входной сигнал до уровня, необходимого для управления исполнительным органом (ИО).

Исполнительный орган, например, контактор, отключает электроустановку

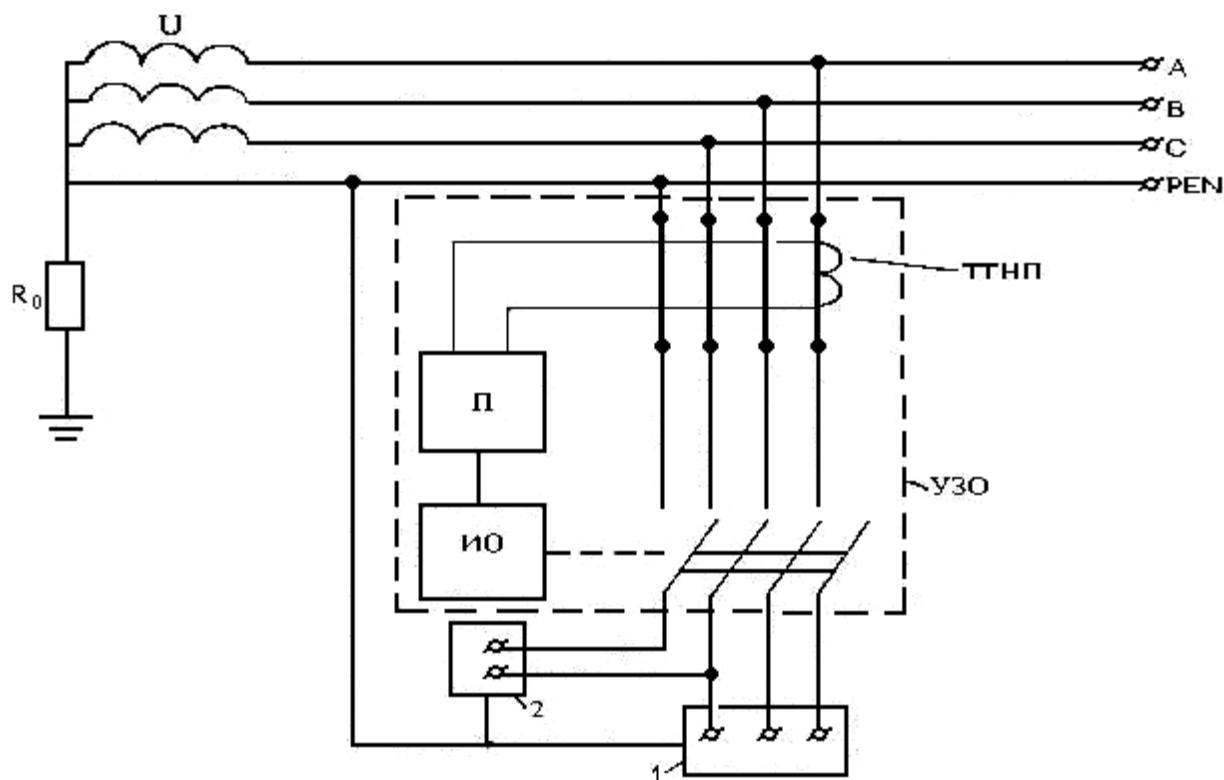


Рисунок 14.3 – Схема подключения к сети УЗО (система $TN-S$), реагирующего на дифференциальный ток

от сети в случае возникновения опасности поражения электрическим током в зоне защиты УЗО.

По условиям функционирования дифференциальные УЗО подразделяются на следующие типы: AC , A , B , S , G .

УЗО типа AC – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток, возникающий внезапно, либо медленно возрастающий.

УЗО типа A – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток и пульсирующий постоянный дифференциальный ток, возникающие внезапно, либо медленно возрастающие.

УЗО типа *B* – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный, постоянный и выпрямленный дифференциальные токи.

УЗО типа *S* – устройство защитного отключения, селективное (с выдержкой времени отключения).

УЗО типа *G* – то же, что и типа *S*, но с меньшей выдержкой времени

Конструктивно дифференциальные УЗО разделяются на два типа:

Электромеханические УЗО, функционально не зависящие от напряжения питания. Источником энергии, необходимой для функционирования таких УЗО – выполнения защитных функций, включая операцию отключения, является сам входной сигнал – дифференциальный ток, на который оно реагирует.

Электронные УЗО, функционально зависящие от напряжения питания. Их механизм для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника.

Основными параметрами УЗО дифференциального типа являются:

- Уставка (дифференциальный отключающий ток);
- Время срабатывания;
- Ток нагрузки;
- Напряжение питания.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается целый ряд УЗО различного назначения. Кроме того, широко используются УЗО известных зарубежных фирм, таких как Siemens, ABB, GE Power, ABL Sursum, Hager, AEG, Vaco, Legrand, Merlin-Gerin, Circutor и др.

Пример 1

Определить допустимое время срабатывания УЗО (в предположении, что оно может быть установлено) для случая прикосновения человека к проводу сети типа *IT* в нормальном режиме.

Параметры сети: $U_{\text{Л}} = 380 \text{ В}$, $R_{\text{Л1}} = R_{\text{Л2}} = R_{\text{Л3}} = R = 200 \text{ кОм}$; $C_{\text{Л1}} = C_{\text{Л2}} = C_{\text{Л3}} = C = 10 \text{ мкФ}$; сопротивление тела человека $R_{\text{ч}} = 2 \text{ кОм}$.

Решение:

Так как по условиям задачи емкость фазных проводов относительно земли $C = 10$ мкФ весьма большая, то влиянием их полного сопротивления на значение тока через тело человека при прямом однофазном прикосновении можно пренебречь и определить его по формуле:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h} = \frac{220}{2} = 110 \text{ мА}.$$

Время срабатывания УЗО определяется из соотношения

$$I_{h\text{макс}} = \frac{50}{T}.$$

Исходя из того, что в данном случае $I_{h\text{макс}} = 110$ мА

$$T = \frac{50}{110} = 0,45 \text{ с}.$$

Ответ задачи: $t_{cp} = 0,45$ с.

Задача

В сети типа $TN-S$ с напряжением 380/220В установлено дифференциальное устройство защитного отключения на ТТНП.

Требуется определить, сработает ли УЗО и каким должно быть его время срабатывания, чтобы обеспечить безопасность при прикосновении человека к фазному проводу в нормальном режиме работы сети.

Дано: ток уставки.

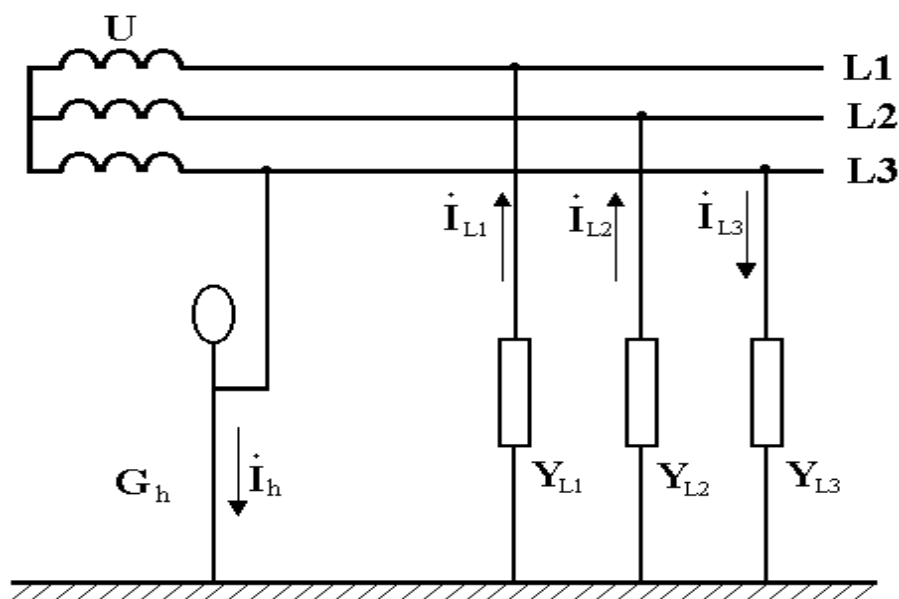
Вопросы к практическому занятию

1. Дайте определение и принцип действия УЗО.
2. Область применения защитного отключения?
3. Принцип действия УЗО дифференциального типа?
4. Типы дифференциального УЗО?

Анализ электробезопасности сетей типа *IT* и *TN-C*

Теоретическая часть

Для трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью типа IT, напряжением до 1 кВ (рисунок 15.1) характерным является то, что при однофазном прикосновении значение тока, проходящего через тело человека при нормальном режиме работы сети, тем меньше, чем меньше рабочее напряжение сети (фазное напряжение) и чем больше значение сопротивления изоляции проводов относительно земли.



Действительно, ток через тело человека и напряжение прикосновения описываются следующими выражениями (при условии, что $Y_0 = 0$; $Y_{PEN} = 0$):

$$I_h = UG_h \frac{Y_{L2}(1-a^2) + Y_{L3}(1-a)}{Y_{L1} + Y_{L2} + Y_{L3} + G_h}, \quad U_h = U \frac{Y_{L2}(1-a^2) + Y_{L3}(1-a)}{Y_{L1} + Y_{L2} + Y_{L3} + G_h}.$$

где Y_{L1} , Y_{L2} , Y_{L3} – полные проводимости изоляции фазных проводов относительно земли в комплексной форме:

$$Y_{L1} = \frac{1}{R_{L1}} + j\omega C_{L1}, \quad Y_{L2} = \frac{1}{R_{L2}} + j\omega C_{L2}, \quad Y_{L3} = \frac{1}{R_{L3}} + j\omega C_{L3},$$

U – действующее значение фазного напряжения сети;

$G_h = \frac{1}{R_h}$ – проводимость человека;

При равенстве проводимостей фазных проводов относительно земли $Y_{L1} = Y_{L2} = Y_{L3} = Y$ (т.е. при равенстве сопротивлений изоляции и емкостей фазных проводов относительно земли $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R$ и $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C$), ток через тело человека и напряжение прикосновения определяется:

$$I_h = UG_h \frac{3Y}{3Y + G_h}, \text{ или } I_h = \frac{U}{R_h + Z/3},$$

где Z – полное сопротивление фазного провода относительно земли в комплексной форме:

$$Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C},$$

R – активное сопротивление изоляции фазного провода относительно земли;

C – емкость фазного провода относительно земли.

В действительной форме этот ток равен:

$$I_h = \frac{U}{R_h} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R(R + 6R_h)}{9R_h^2(1 + R^2\omega^2C^2)}}},$$

При равенстве сопротивлений изоляции фазных проводов относительно земли $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R$ и отсутствии емкостей, т.е. $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = C = 0$, выражение для нахождения тока через человека упрощается:

$$I_h = \frac{U}{R_h + R/3}.$$

Таким образом, в сетях с изолированной нейтралью при нормальном режиме работы опасность для человека при прямом однофазном прикосновении зависит от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли. С увеличением сопротивления изоляции и уменьшении емкости фазных проводов относительно земли опасность уменьшается. Этот вывод иллюстрируется графиками зависимости $I_h = f(R)$ при $C = 0$ (что может иметь место в коротких сетях) и $I_h = f(C)$ при $R = \text{const}$, представленными на рисунке 15.2:

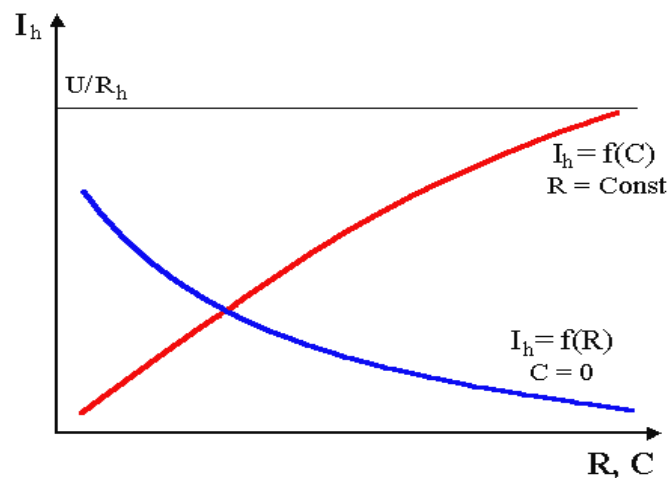


Рисунок 15.2 – Зависимость значения тока, протекающего через тело человека, прикоснувшегося к фазному проводу в сети ИТ с симметричными параметрами в нормальном режиме работы, от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли

При аварийном режиме работы сети (рисунок 15.3), когда один из фазных проводов, например, провод $L2$, замкнулся на землю, опасность поражения током человека, прикоснувшегося к исправному фазному проводу, значительно возрастает.

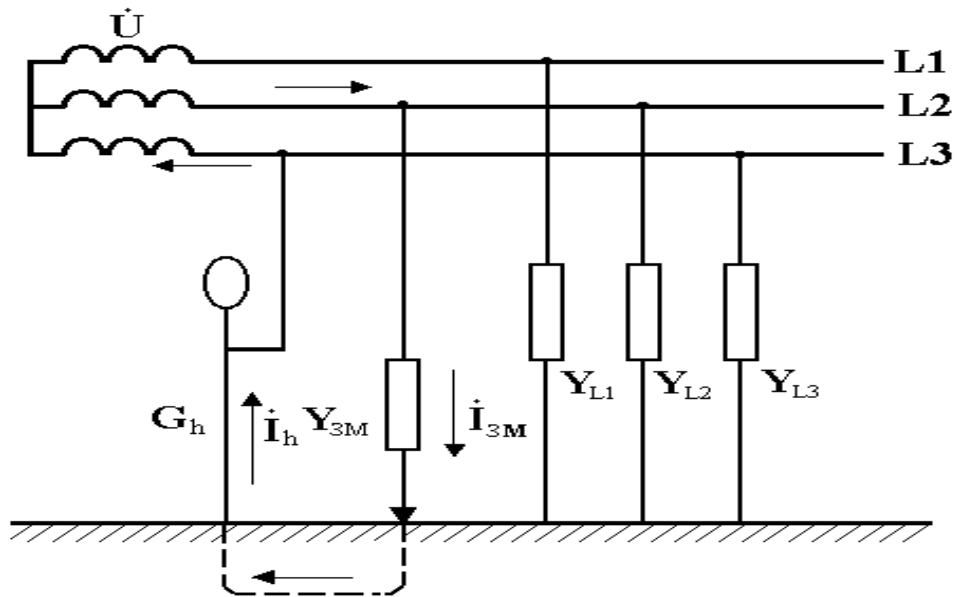


Рисунок 15.3 – Однофазное прикосновение к исправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа IT при аварийном режиме работы

В этом случае ток через тело человека будет равен:

$$I_h = \frac{U\sqrt{3}}{R_h + R_{3M}},$$

где R_{3M} - сопротивление растеканию тока в месте замыкания фазного провода на землю (на рисунке 15.3 – фазного провода $L2$).

Так как обычно выполняется условие $R_{3M} \ll R_h$, то:

$$I_h = \frac{U\sqrt{3}}{R_h}, \quad U_h = U\sqrt{3}.$$

При аварийном режиме работы сети типа IT, когда человек касается провода, замкнувшегося на землю (на рисунке 15.4 человек касается фазного провода $L3$) ток через тело человека будет определяться падением напряжения на сопротивлении растеканию тока в месте замыкания на землю R_{3M} :

$$I_h = \frac{I_{3M} R_{3M}}{R_h} \alpha_1 \alpha_2,$$

где I_{3M} - ток замыкания на землю; α_1 , α_2 - коэффициенты напряжения прикосновения.

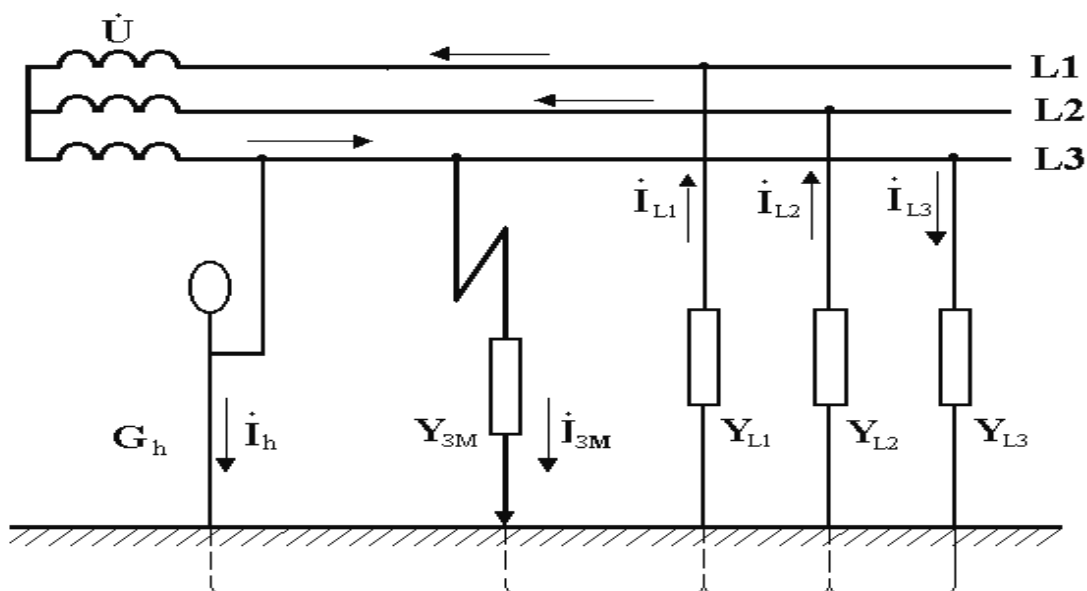


Рисунок 15.4 – Однофазное прикосновение к неисправному проводу в сети с изолированной нейтралью типа IT при аварийном режиме работы

При $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$:

$$I_h = \frac{I_{3M} R_{3M}}{R_h}.$$

Ток замыкания на землю в сети IT зависит от сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли, сопротивления растеканию R_{3M} , R_h . Если принять во внимание, что обычно $R_{3M} \ll R_h$, то:

$$I_h = \frac{U}{R_{3M} + Z/3}.$$

В действительности ток замыкания на землю будет меньше, что более безопасно для человека.

Таким образом, прикосновение к неисправному фазному проводу (замкнувшемуся на землю) в сети IT значительно менее опасно, чем к исправному. Значение тока, протекающего через тело человека, в этом случае меньше, чем при прямом однофазном прикосновении в нормальном режиме работы.

Анализ электробезопасности сетей типа *TN-C*

Для трехфазной сети с заземленной нейтралью напряжением до 1 кВ типа *TN-C* (рисунок 15.5) значения тока, протекающего через тело человека и напряжение прикосновения определяются фазным напряжением сети и не зависят от сопротивления изоляции и емкости проводов относительно земли.

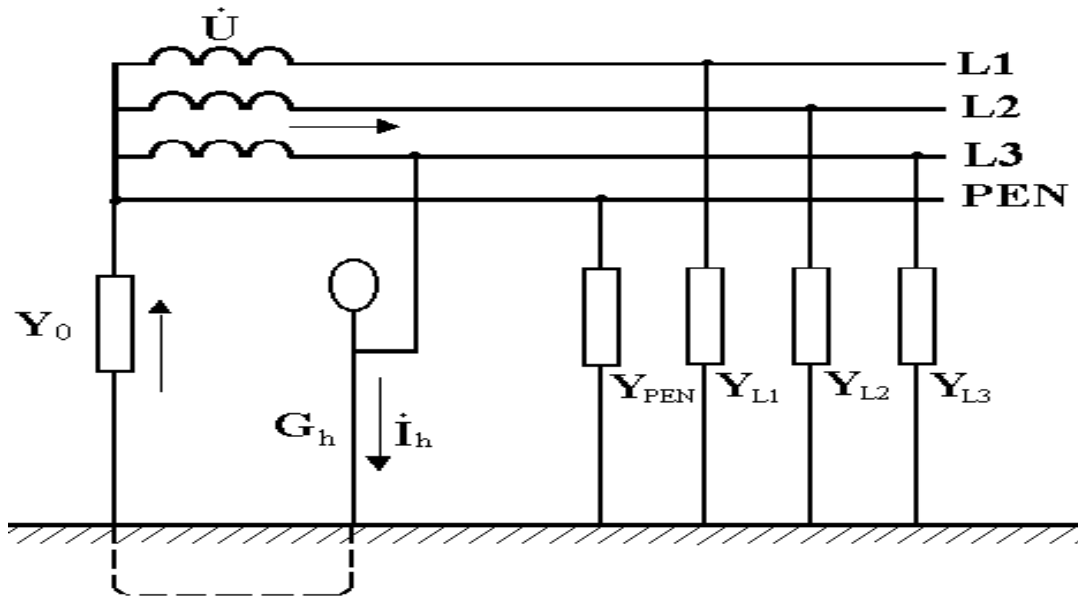


Рисунок 15.5 – Однофазное прямое прикосновение в сети с заземленной нейтралью типа *TN-C* при нормальном режиме работы

Действительно, проводимости фазного и нулевого проводников относительно земли по сравнению с $U_0 = 1/R_0$ проводимостью заземления нейтрали малы ($U_{L1}, U_{L2}, U_{L3} \ll U_0$). При этом выражение для тока, протекающего через тело человека при прикосновении к фазному проводу при нормальном режиме работы сети *TN - C* (рисунок 15.5) , принимает вид:

$$I_h = \frac{U}{R_h + R_0},$$

где R_0 – сопротивление рабочего заземления нейтрали.

Напряжение прикосновения в этом случае определяется из уравнения:

$$U_h = \frac{UR_h}{R_h + R_0}.$$

Так как обычно $R_0 \ll R_h$, то можно считать, что человек в этом случае попадает практически под фазное напряжение сети.

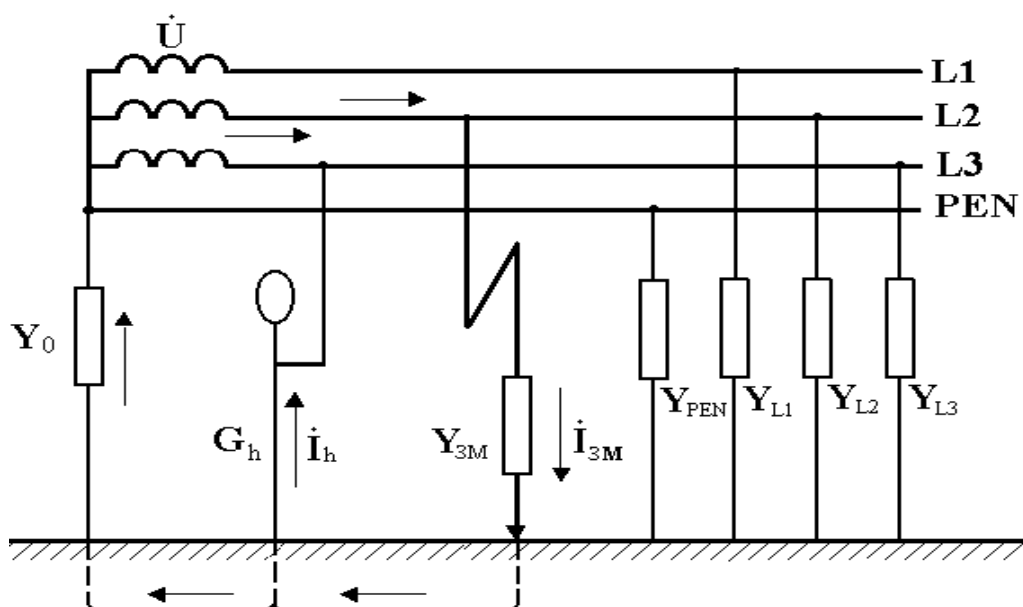


Рисунок 15.6 – Прикосновение к исправному проводу в сети с заземленной нейтралью типа *TN - C* при аварийном режиме работы

При аварийном режиме, когда один из фазных проводов сети, например, провод *L2* (рисунок 15.6), замкнут на землю через относительно малое сопротивление R_{3M} , а человек прикасается к исправному фазному проводу, уравнение напряжения прикосновения имеет следующий вид:

$$U_h = U \frac{Y_{3M}(1-a) + Y_0}{Y_{3M} + Y_0 + Y_h}.$$

Здесь учтено, что Y_{L1} , U_{L2} и U_{PEN} малы по сравнению с U_0 , а U_{L3} – по сравнению с U_0 и U_{3M} , т.е. ими можно пренебречь и считать равными нулю.

С учетом того, что:

$$Y_{3M} = \frac{1}{R_{3M}}, \quad Y_0 = \frac{1}{R_0}, \quad Y_h = \frac{1}{R_h},$$

Напряжение прикосновения в действительной форме имеет вид:

$$U_h = UR_h \frac{\sqrt{R_{3M}^2 + 3R_{3M}R_0 + (R_0 \cdot \sqrt{3})^2}}{R_{3M} + R_0 + R_h(R_{3M} + R_0)},$$

Учитывая, что:

$$3R_{3M}R_0 \approx 2\sqrt{3R_{3M}R_0},$$

предыдущее выражение можно записать как:

$$U_h = UR_h \frac{R_{3M} + R_0 \cdot \sqrt{3}}{R_{3M}R_0 + R_h(R_{3M} + R_0)},$$

При этом выражение для определения тока через тело человека имеет вид:

$$I_h = U \frac{R_{3M} + R_0 \sqrt{3}}{R_{3M}R_0 + R_h(R_{3M} + R_0)}.$$

Рассмотрим два характерных случая:

1. Если принять, что сопротивление замыкания фазного провода на землю R_{3M} равно нулю, то напряжение прикосновения:

$$U_h = U \sqrt{3}.$$

Следовательно, в данном случае человек окажется практически под воздействием линейного напряжения сети.

2. Если принять равным нулю сопротивления заземления нейтрали R_0 , то:

$$U_h = U,$$

т.е. напряжение, под которым окажется человек, будет практически равно фазному напряжению.

Однако в реальных условиях сопротивления R_{3M} и R_0 всегда больше нуля, поэтому напряжение, под которым оказывается человек, прикоснувшийся в аварийный период к исправному фазному проводу трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью, т.е. напряжение прикосновения U_h всегда меньше линейного, но больше фазного, то есть:

$$U_\phi \sqrt{3} > U_h > U_\phi.$$

С учетом того, что всегда $R_{3M} > R_0$, напряжение прикосновения U_h в большинстве случаев незначительно превышает значение фазного напряжения, что менее опасно для человека, чем в аналогичной ситуации в сети типа IT.

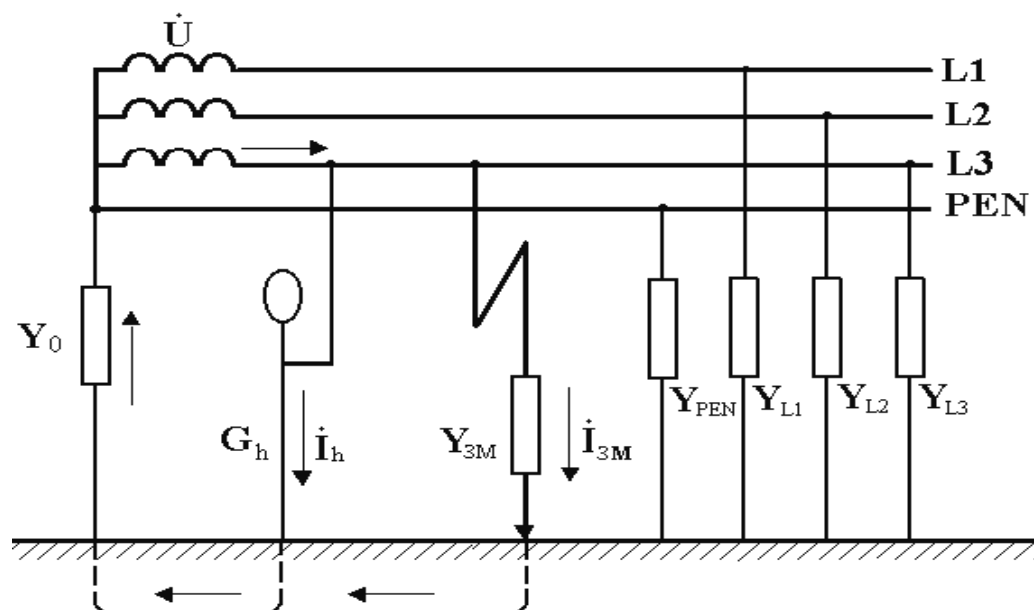


Рисунок 15.7 – Прикосновение к неисправному проводу в сети с заземленной нейтралью типа *TN - C* при аварийном режиме работы

При аварийном режиме работы сети типа *TN - C*, когда человек касается провода, замкнувшегося на землю (рисунок 15.7 человек касается фазного провода *L3*) ток через тело человека будет определяться, также, как и в сети типа *IT*, падением напряжения на сопротивлении растеканию тока в месте замыкания на землю R_{3M} :

$$I_h = (I_{3M} R_{3M} \cdot \alpha_1 \alpha_2) / R_{3M}:$$

где I_{3M} — ток замыкания на землю;

α_1, α_2 — коэффициенты напряжения прикосновения.

При $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$:

$$I_h = (I_{3M} R_{3M}) / R_h:$$

Ток замыкания на землю в сети *TN-C* зависит только от сопротивления растеканию тока R_{3M} , сопротивления заземления нейтрали R_0 и сопротивления тела человека R_h . Если принять во внимание, что обычно $R_{3M} \ll R_h$, то:

$$I_{3M} = \frac{U}{R_{3M} + R_0}.$$

В этом случае напряжение прикосновения лишь незначительно отличается от значения фазного напряжения.

Таким образом, прикосновение к неисправному фазному проводу (замкнувшемуся на землю) в сети $TN - C$ практически также опасно, как к исправному. Значение тока, протекающего через тело человека, в этом случае почти такое же, как при прямом однофазном прикосновении в нормальном режиме работы в сети $TN-C$.

Задача 1

В сети напряжением $380/220\text{ В}$, 50 Гц с заземленной нейтралью типа $TN-C$ произошло замыкание на землю фазного провода, при этом: $R_{зм}=18\text{ Ом}$; $R_0=4\text{ Ом}$; $R_h=1\text{ кОм}$.

Какой ток протекает через тело человека при прикосновении к поврежденной фазе, если человек находится на расстоянии 40 м от места замыкания на землю?

Принципиальная схема, соответствующая условию задачи, приведена ниже.

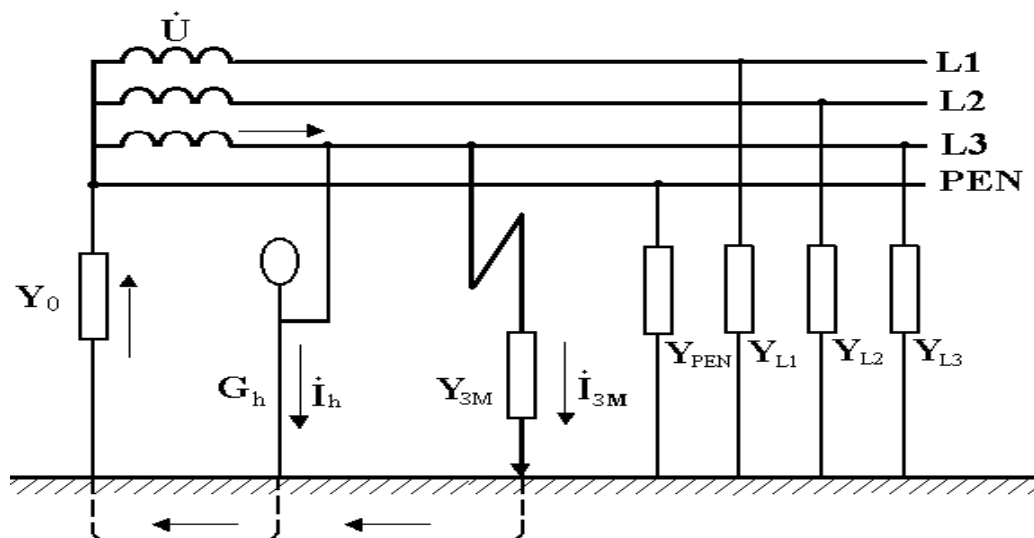


Рисунок 15.8 – Замыкание фазного провода на землю в сети типа $TN - C$

Решение

1. Рассчитаем ток замыкания на землю по формуле:

$$I_{зм} = \frac{U}{R_{зм} + R_0} = \frac{220}{18 + 4} = 10\text{ А}.$$

При этом учтено, что R_h и $R_{зм}$ включены параллельно и $R_h \gg R_{зм}$.

2. Определим напряжение поврежденного фазного провода относительно земли по формуле:

$$U_{зм} = I_{зм} \cdot R_{зм}, U_{зм} = 10 \cdot 18 = 180 \text{ В}$$

3. Рассчитаем ток через тело человека по формуле:

$$I_h = \frac{U_{зм}}{R_h} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2,$$

Так как человек находится на расстоянии 40 м от места замыкания на землю, α_1 и α_2 равны единице получим:

$$I_h = \frac{U_{зм}}{R_h} = \frac{180}{1} = 180 \text{ мА.}$$

Ответ: $I_h = 180 \text{ мА}$ - справедлив в том случае, когда человек стоит вне зоны растекания тока с поврежденного провода.

Задача 2

Определить ток, протекающий через тело человека I_h при однофазном прикосновении к замкнувшемуся на землю проводу 3-х фазной 3-х проводной сети с изолированной нейтралью типа IT, если человек находится на расстоянии 30 м от места замыкания на землю.

Дано: $U_n = 380 \text{ В}$, $R_h = 2 \text{ кОм}$; $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = 0$; $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R = 12 \text{ кОм}$; $R_{зм} = 16 \text{ Ом}$.

Ответ: 88 мА.

Задача 3

Человек прикоснулся к фазному проводу сети типа IT при нормальном режиме работы. Определить ток, протекающий через тело человека I_h для двух случаев:

1) $U = 220 \text{ В}$, $R_h = 1 \text{ кОм}$; $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = 0$; $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R = 30 \text{ кОм}$.

2) $U = 220 \text{ В}$, $R_h = 1 \text{ кОм}$; $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = \infty$; $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R = 30 \text{ кОм}$

Принципиальная схема, соответствующая условию задачи, приведена ниже.

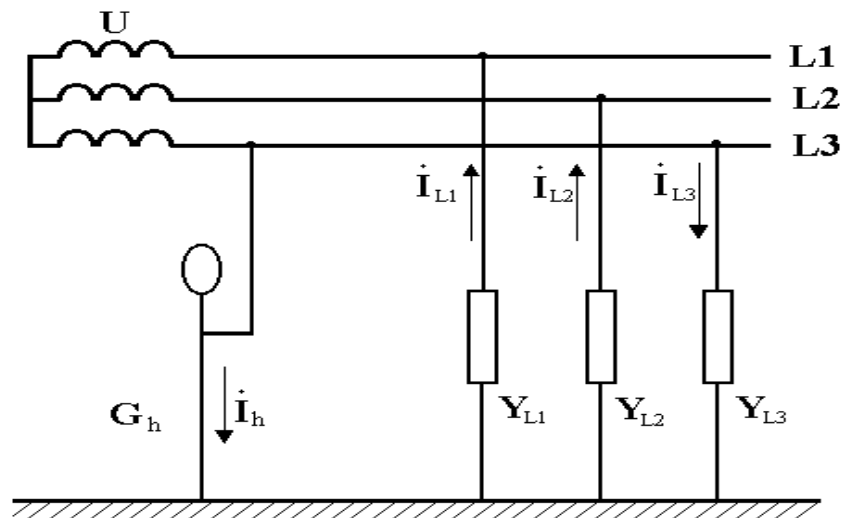


Рисунок 15.9 – Прикосновение к фазному проводу сети типа IT при нормальном режиме работы.

Решение

1. Рассчитаем ток, протекающий через тело человека в первом случае, по формуле:

$$I_h = \frac{U}{R_h + R/3} = \frac{220}{1 + 30/3} = 20 \text{ мА}$$

2. Во втором случае ток, протекающий через тело человека, определяется по формуле:

$$I_h = \frac{U}{R_h + Z/3}, \quad Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{1/R + j\omega C}$$

$$I_h = \frac{U}{R_h + R/3}, \quad Z = \frac{1}{Y} = \frac{1}{1/R + j\omega C}.$$

С учетом того, что при $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = \infty$ $Z = 0$

$$I_h = \frac{U}{R_h} = \frac{220}{1} = 220 \text{ мА}.$$

Ответ задачи: 1) 20 мА; 2) 220 мА.

Задача 4

Определить ток, протекающий через тело человека I_h при прямом однофазном прикосновении к проводу сети типа $TN - C$ при нормальном режиме работы. Параметры сети: $U = 220 \text{ В}$, $R_h = 2 \text{ кОм}$; $C_{L1} = C_{L2} = C_{L3} = 0,3 \text{ мкФ}$; $R_{L1} = R_{L2} = R_{L3} = R = 50 \text{ кОм}$; $R_0 = 4 \text{ Ом}$.

Ответ: 110 мА .

Задача 5

Человек прикоснулся к проводу однофазной двухпроводной сети $R_h = 1000 \text{ Ом}$. Определить U_{np} и I_h при нормальном и аварийном режимах работы. Определить I_h в случае прикосновения в сети с заземленным проводом

а) с учетом r_n и $r_{об}$:

б) без учета r_n и $r_{об}$:

Таблица 15.1 – Варианты заданий

№ вар	$U, \text{ В}$	$r_1=r_2=r_3$ $\times 10^3, \text{ Ом}$	$r_{зм}, \text{ Ом}$	$r_0, \text{ Ом}$	r_n $\times 10^3,$ Ом	$r_{об}$ $\times 10^3, \text{ Ом}$
1	220	1	25	10	30	20
2	1000	10	40	15	40	30
3	220	20	30	20	40	15
4	220	30	45	15	25	15
5	1000	40	35	10	30	25
6	1000	1	25	15	35	20
7	220	10	40	20	30	30
8	1000	20	30	10	40	15
9	220	30	25	20	35	25
10	1000	40	15	10	25	35

Задача 6

Человек прикоснулся к проводу 3х-фазной 3х- проводной сети $U=380\text{В}$ с изолированной нейтралью $R_h = 1000 \text{ Ом}$. Определить I_h .

Таблица 15.2 – Варианты заданий

№ вар	Режим работы.	$X_c, \times 10^3, \text{ Ом}$	$r, \text{ Ом}$	$r_{зм}, \text{ Ом}$
1	Норм	100	∞	-
2	Авар	32	10^4	100
3	Авар	32	10^4	50
4	Норм	0	3×10^3	-
5	Авар	32	10^4	4
6	Норм	32	∞	-
7	Норм	0	5×10^3	-
8	Авар	32	10^4	0,5
9	Норм	10	∞	-
10	Авар	32	10^4	20
11	Норм	6	∞	-
12	Норм	5	∞	-
13	Норм	0	40×10^3	-
14	Авар	32	10^4	80
15	Норм	2,7	∞	-

Контрольные вопросы

1. Ответьте на вопрос: Как разделяются электроустановки по условиям электробезопасности в зависимости от напряжения?

Варианты ответа:

- На электроустановки напряжением до 1000 В и электроустановки выше 1000 В
- На электроустановки высокого и низкого напряжения
- На электроустановки безопасного (до 42 В) и опасного напряжения.

2. Решите задачу: Определить ток, протекающий через тело человека I_h при однофазном прикосновении к исправному проводу 3-х фазной 3-х проводной сети с изолированной нейтралью в аварийном режиме, если человек находится на расстоянии 30 м от места замыкания на землю.

Исходные данные: $U=220 \text{ В}$, $R_h=1 \text{ кОм}$; $C_{L1}=C_{L2}=C_{L3}=0$;
 $R_{L1}=R_{L2}=R_{L3}=R=100 \text{ кОм}$; $R_{зм}=100 \text{ Ом}$.

Как изменится ток, если учесть сопротивление обуви человека $R_{об}=50 \text{ кОм}$ и пола помещения $R_{пол}=50 \text{ кОм}$?

Варианты ответа: $180,7 \text{ мА}$, $25,3 \text{ мА}$; $220,1 \text{ мА}$, $0,5 \text{ мА}$; $375,5 \text{ мА}$, $1,6 \text{ мА}$; $345,5 \text{ мА}$, $3,8 \text{ мА}$; $360,8 \text{ мА}$, $10,2 \text{ мА}$.

3. Решите задачу: Каким сопротивлением относительно земли должны обладать фазные провода сети типа *IT*, чтобы при прямом однофазном прикосновении значение тока, проходящего через тело человека, не превышало длительно допустимого значения (10 мА).

Исходные данные: напряжение сети $380/220 \text{ В}$, $R_h=1 \text{ кОм}$; $C_{L1}=C_{L2}=C_{L3}=0$; $R_{L1}=R_{L2}=R_{L3}=R$.

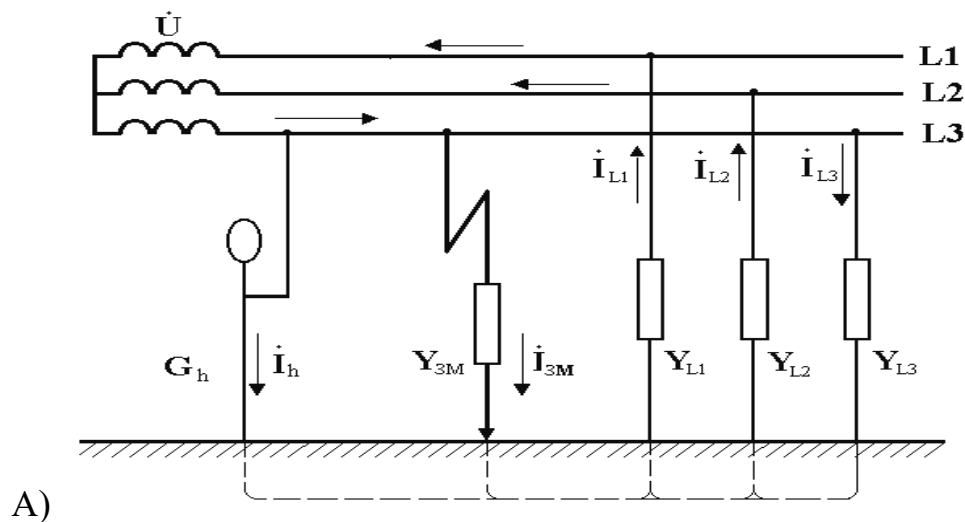
Варианты ответа: 220 кОм ; 380 кОм ; 63 кОм ; 100 кОм ; 56 кОм .

4. Решите задачу: Человек прикоснулся к *PEN*-проводу сети типа *TN-C* напряжением $380/220 \text{ В}$ при аварийном режиме работы (фазный провод *L3* замкнулся на землю). Определите ток, протекающий через тело человека, если человек находится на расстоянии 40 м от места замыкания на землю.

Исходные данные: $R_h=1 \text{ кОм}$; $C_{L1}=C_{L2}=C_{L3}=0$; $R_{L1}=R_{L2}=R_{L3}=100 \text{ кОм}$; $R_{3M}=18 \text{ Ом}$; $R_0=4 \text{ Ом}$.

Варианты ответа: 180 мА ; 40 мА ; 22 мА ; 220 мА ; 18 мА .

5. В каком случае прикосновение опаснее:



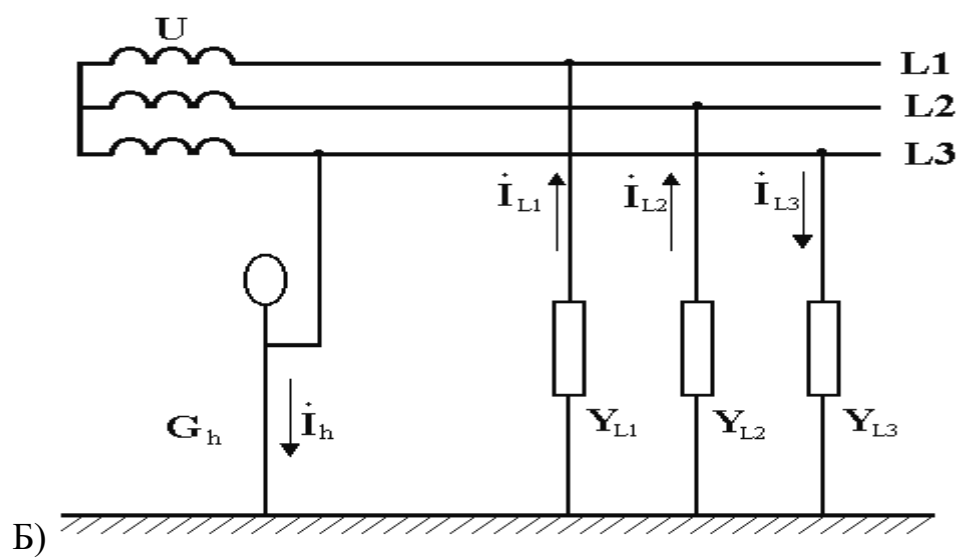
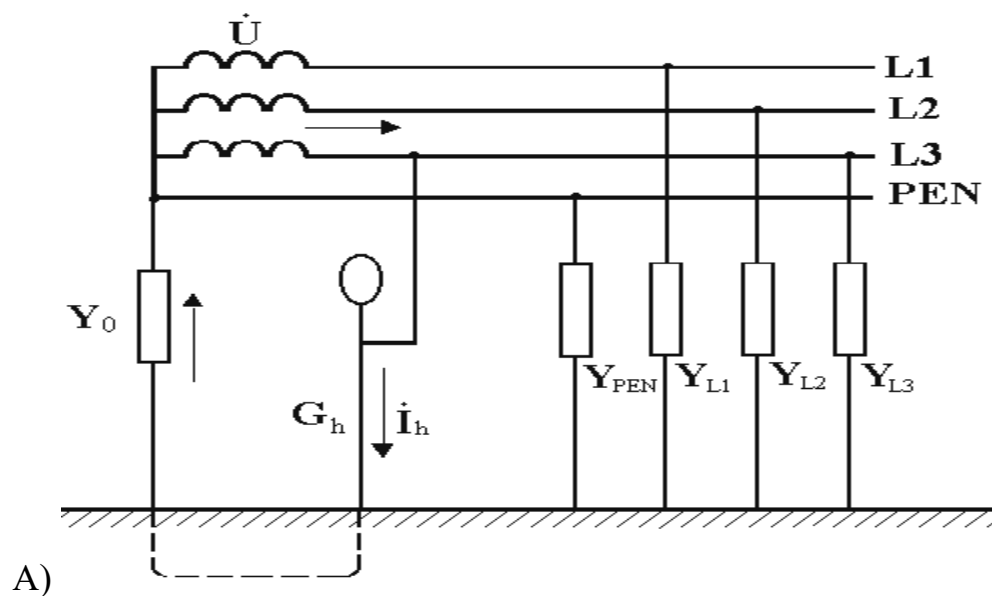


6. В каком случае прикосновение опаснее:



Варианты ответа: А; Б; Одинаково опасны.

7. В каком случае прикосновение опаснее:



Варианты ответа: А; Б; Одинаково опасны.

Практическое занятие № 16

Явления при стекании тока в землю. Напряжение прикосновения и шага

Теоретическая часть

При работе в действующих электроустановках всегда существует определенная вероятность попадания человека под действие электрического тока. Эта вероятность может быть меньше или больше в зависимости от разных факторов. Но в любом случае при оценке действия тока на человека определяются значения:

- напряжения прикосновения;
- напряжения шага.

Напряжение прикосновения

Согласно нормативным документам напряжение прикосновения – это напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

Другими словами напряжением прикосновения (для человека) U_{np} называется напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек, или падение напряжения в сопротивлении тела человека, R_h :

$$U_{np} = I_h R_h, \quad (16.1)$$

где I_h — ток, проходящий через человека по пути "рука - ноги", А;

R_h — сопротивление тела человека, Ом.

В области защитных заземлений, занулений и т. п. одна из этих точек имеет потенциал заземлителя φ_z , а другая — потенциал основания в том месте,

где стоит человек, $\varphi_{\text{осн}}$. При этом напряжение прикосновения:

$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 - \varphi_{\text{осн}} \quad (16.2)$$

Если принять во внимание характер изменения потенциала по поверхности грунта и пренебречь сопротивлением растеканию тока основания, то

$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 \cdot \alpha_1, \quad (16.3)$$

где α_1 — коэффициент, называемый коэффициентом напряжения прикосновения или просто коэффициентом прикосновения, учитывающим форму потенциальной кривой:

$$\alpha_1 = \left(1 - \frac{\varphi_{\text{осн}}}{\varphi_3}\right) \leq 1 \quad (16.4)$$

Поскольку напряжение прикосновения зависит от значения потенциала заземлителя и от характера его потенциальной кривой, опасность для человека будет различной при использовании различных типов одиночных заземлителей и групповых заземлителей:

- Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе;
- напряжение прикосновения при групповом заземлителе.

Напряжение прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении основания, на котором стоит человек. Ток, стекающий в землю через человека, стоящего на земле, полу или другом основании, преодолевает сопротивление не только тела человека, но и этого основания, вернее, тех его участков, с которыми имеют контакт подошвы ног человека (сопротивление обуви в данном случае во внимание не принимается).

Сопротивление основания, на котором стоит человек, правильнее называть (аналогично сопротивлению заземлителя) сопротивлением растеканию тока основания ног; нередко это сопротивление именуют также сопротивлением растеканию тока основания или сопротивлением растеканию тока ног человека.

Все положения, рассмотренные выше, справедливы для случаев, когда

сопротивление растеканию основания, на котором стоит человек, равно нулю. В действительных условиях это сопротивление не равно нулю и в ряде случаев бывает довольно велико.

Следовательно, разность потенциалов $(\varphi_3 - \varphi_{осн}) = \varphi_3 \cdot \alpha_1$, В, оказывается приложенной не только к сопротивлению тела человека R_h , Ом, но и к последовательно соединенному с ним сопротивлению основания $R_{осн}$, Ом, на котором стоит человек (рисунок 16.1): $\varphi_3 \alpha_1 = I_h (R_h + R_{осн})$.

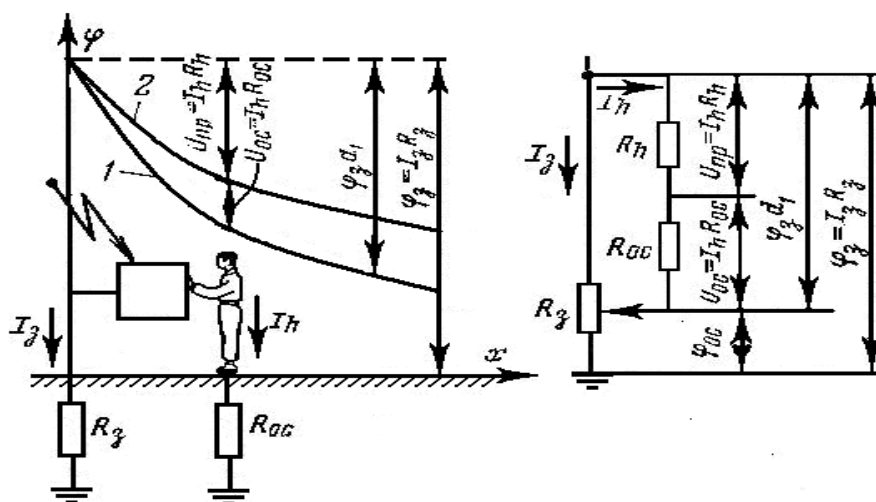


Рисунок 16.1 – К определению напряжения прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении растеканию тока основания, на котором стоит человек:

1 — потенциальная кривая;

2 — кривая, характеризующая изменение $U_{пр}$ с изменением расстояния от заземлителя

Заменив в этом выражении ток I_h , А, проходящий через человека, его значением из (5.1), получим:

$$\varphi_3 \alpha_1 = \frac{U_{пр}}{R_h} (R_h + R_{осн}), \quad (16.5)$$

откуда напряжение прикосновения с учетом падения напряжения в

сопротивлении растеканию основания, В:

$$U_{np} = \varphi_3 \cdot \alpha_1 \cdot (R_h / R_h + R_{осн}) \quad (16.6)$$

или

$$U_{np} = \varphi_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2, \quad (16.7)$$

где α_2 — коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек:

$$\alpha_2 = R_h / (R_h + R_{осн}) \quad (16.8)$$

Решение задач на растекание тока с одиночных заземлителей

Задача 1

Определить сопротивления растеканию тока одиночных заземлителей вертикального стержневого R_v и горизонтального полосового R_z и сравнить их значения. Размеры одиночных заземлителей и их размещение в земле показаны на рисунке 16.2. Удельное сопротивление грунта 1 Ом·м.

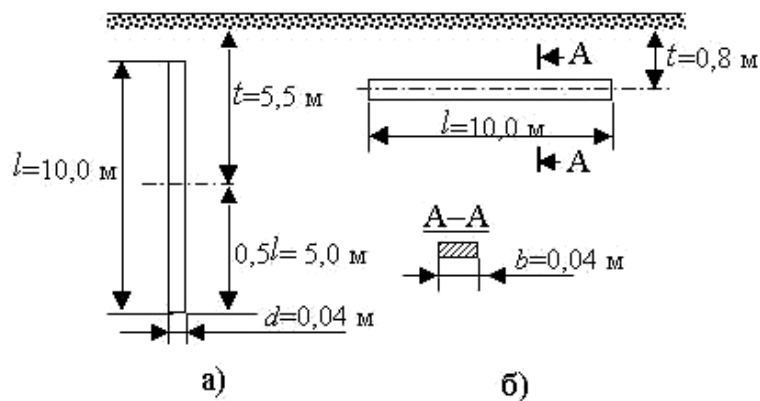


Рисунок 16.2 – Одиночные заземлители: (а) - вертикальный стержневой, (б) - горизонтальный полосовой

Решение

Подставив исходные данные в выражение для определения

сопротивления растеканию тока (смотри таблицу 5.1) получим:

для вертикального электрода

$$R_{\epsilon} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) = \frac{100}{2 \cdot \pi \cdot 10} \left(\ln \frac{2 \cdot 10}{0,04} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 5,5 + 10}{4 \cdot 5,5 - 10} \right) = 10,8 \text{ Ом} \quad (16.9)$$

для горизонтального электрода

$$R_z = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t} = \frac{100}{2 \cdot \pi \cdot 10} \ln \frac{2 \cdot 10^2}{0,04 \cdot 0,8} = 14 \text{ Ом} \quad (16.10)$$

Ответ задачи: $R_{\epsilon} = 10,8 \text{ Ом}$; $R_z = 14 \text{ Ом}$.

Задача 2

Ток стекает в землю через стержневой заземлитель круглого сечения, погруженный в землю на глубину $l = 3 \text{ м}$ (см. рисунок 16.3).

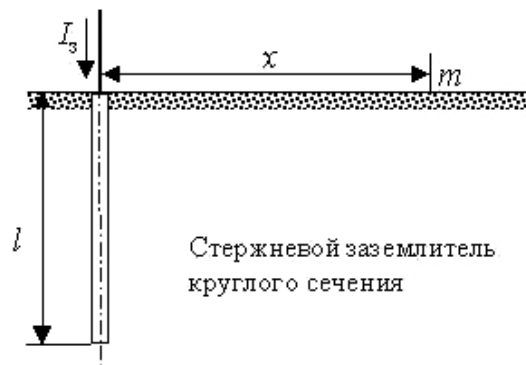


Рисунок 16.3 – Стержневой заземлитель круглого сечения

Определить потенциал точки m на поверхности земли, отстоящей от центра заземлителя на расстояние $x = 20 \text{ м}$, при токах I_z , равных 1; 10; 50; 100; 500; 1000 А. Принять удельное сопротивление земли $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Решение

Пользуясь известным уравнением потенциальной кривой одиночного

стержневого заземлителя (электрода):

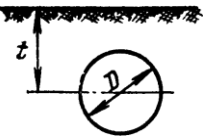
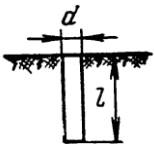
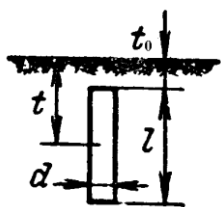
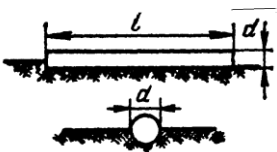
$$\varphi = \frac{I_z \cdot 100}{2 \cdot \pi \cdot l} \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x}, \quad (16.11)$$

вычисляем потенциалы на поверхности земли в точке m , отстоящей от центра заземлителя на расстояние $x = 20$ м, при указанных значениях тока по формуле:

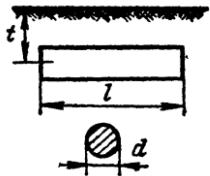
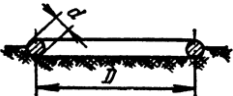
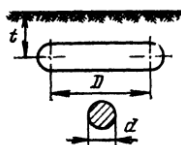
$$\varphi = \frac{I_z \cdot 100}{2 \cdot \pi \cdot 3} \ln \frac{\sqrt{20^2 + 3^2} + 3}{20} = 0,8 \cdot I_z \text{ В}$$

Ответ задачи: Результаты вычислений представлены в таблице 16.2

Таблица 16.1 – Формулы для вычисления сопротивлений одиночных заземлителей растеканию тока в однородном грунте

Тип заземлителя	Схема	Формулы для расчета
Шаровой в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi D} \left(1 + \frac{D}{4t}\right)$
Полушаровой у поверхности земли		$R = \frac{\rho}{\pi D}$
Стержневой круглого сечения (трубчатый) или уголкового у поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$
То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right)$
Протяженный на поверхности земли (стержень, труба, полоса, кабель и т.п.)		$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$

Продолжение таблицы 16.1

То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{d t}$
Кольцевой на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln \frac{8D}{b}$
То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{4\pi D^2}{d t}$

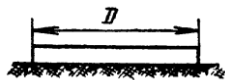
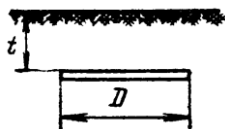
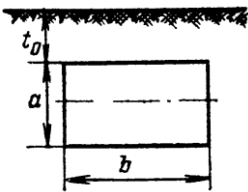
Продолжение таблицы 16.1		
Круглая пластина на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2D}$
То же в земле		$R = \frac{\rho}{4D} \left(1 + \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{D}{\sqrt{16t_0^2 + D^2}} \right)$
Пластиноччатый в земле (пластина, поставленная на ребро)		$R = \frac{\rho}{2\pi a} \left(\ln \frac{4a}{b} + \frac{a}{2t_0} \right)$

Таблица 16.2 – Результаты расчета

Ток I_3 , стекающий в землю, А	1	10	50	100	500	1000
Потенциал φ в точке m , В	0,8	8,0	40	80	400	800

Примечание. Широко распространено мнение, что потенциал земли на расстоянии 20 и более метров от заземлителя, с которого стекает ток, незначителен, и поэтому его можно принимать равным нулю. Однако ответ, полученный при решении настоящей задачи, свидетельствует, что это мнение справедливо лишь при малых токах, стекающих в землю. В частности, такое положение возможно в сетях до 1000 В.

Задача 3

Ток $I_3 = 100$ А стекает в землю через металлический предмет неправильной формы, который может быть условно уподоблен шару с радиусом $r = 0,5$ м (см. рисунок 16.4). Предмет погружен в землю на глубину $t_1 = 3$ м; ток к нему подается по изолированному проводу. Удельное сопротивление земли $\rho = 100$ Ом·м.

Требуется определить потенциал φ на металлическом трубопроводе C , проложенном в земле на глубине $t_2 = 4$ м и на расстоянии по горизонтали от центра шара $x = 3$ м.

Решение

Известно, что при бесконечно большой глубине погружения шарового заземлителя в землю потенциал φ в некоторой точке земли, создаваемый током I_3 , А, стекающим с заземлителя, выражается зависимостью 5.13:

$$\varphi = \frac{I_3 \cdot \rho}{4 \cdot \pi \cdot x}, \quad (5.13)$$

где ρ – удельное сопротивление земли, x – расстояние от центра шара до

интересующей нас точки.

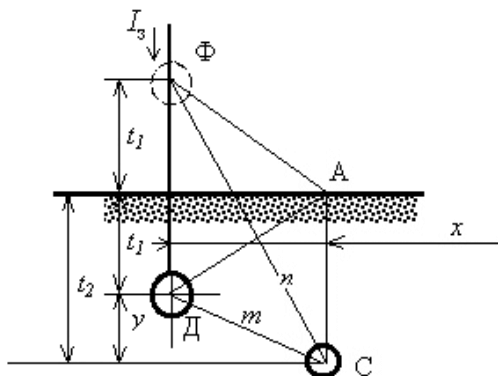


Рисунок 16.4 – К определению потенциалов на трубопроводе (с), на поверхности земли (А) и на заземлителе, с которого в землю стекает ток

Однако, в данном случае шар находится вблизи поверхности земли, поэтому для решения задачи следует воспользоваться методом зеркального отображения. При этом потенциал φ_c , В в некоторой точке С (трубопровод) будет равен сумме потенциалов φ_d и φ_ϕ , В, создаваемых в этой точке полями токов, стекающих как с действительного, так и с фиктивного заземлителей, В (см. рисунок 5.4):

$$I_k = \frac{U_\phi}{Z_T} \cdot \frac{1}{3 + \sqrt{(R_\phi + R_{H.3.})^2 + (X_\phi + X_{H.3.} + X_\Pi)^2}}$$

$$I_{кз}^{факт} = \frac{220}{0.195} = 1260 A$$

$$3 + \sqrt{(0,0395 + 0,07)^2 + (0,0039 + 0,0039 + 0,015)^2}$$

$$R_{3y}(10,6) < R_{3y}(12)$$

$$\rho_p = K_c \cdot \rho = 3 \cdot 86 = 264$$

$$R_\epsilon = \frac{1}{\frac{1}{R_{каб}} + \frac{1}{R_\phi} + \frac{1}{R_{с,м,о}}} = \frac{\rho_{вс}}{8 \cdot 0,08} = 1,5 \rho_{вс} 0,3 \cdot I_{кз}^{факт} = \frac{U}{Z_{мп} / 3 + \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + (X_\phi + X_n + X_n)^2}}$$

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_c + L_\epsilon}$$

$$\frac{h_1 - t}{l_\epsilon} = \frac{2 - 0,7}{5} = 0,26$$

$$A = \left(0,385 - 0,25 \cdot \frac{l_\epsilon + t}{\sqrt{S}} \right) = 0,385 - 0,25 \cdot \frac{5 + 0,7}{15,5} = 0,293$$

$$0,1 \leq \frac{l_\epsilon + t}{\sqrt{S}} \leq 0,5$$

$$\tau_{\epsilon} = t_{p3} + t_{omk,\epsilon}$$

$$I_{3\max} = \frac{U_{np,\dot{don}}}{K_n \cdot R_3} = \frac{400}{0,057 \cdot 2,044} = 3433$$

$$K_n = \frac{M \cdot \beta}{\left(\frac{l_{\epsilon} \cdot L_{\epsilon}}{a \cdot \sqrt{S}} \right)^{0,45}} = \frac{0,806 \cdot 0,18}{\left(\frac{5 \cdot 125}{5 \cdot \sqrt{15 \cdot 20}} \right)^{0,45}} = 0,057$$

$$\frac{l_{\epsilon} + t}{\sqrt{S}} = \frac{5 + 0,7}{15,5} = 0,368 > 0,1$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot \rho_{\epsilon c}} \beta' = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 3000} = 0,18$$

$$b = \frac{15,5}{3} = 5,17$$

$$L_{\epsilon} = l_{\epsilon} \cdot n_{\epsilon} = 5 \cdot 12 = 60$$

$$n_{\epsilon} = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{l_{\epsilon}} = \frac{15,5 \cdot 4}{5} = 12,4$$

$$L'_{\epsilon} = 2 \cdot \sqrt{S \cdot (m+1)} = 2 \cdot 15,5 \cdot 4 = 124$$

$$m = \frac{L_{\epsilon}}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1 = \frac{125}{2 \cdot 15,5} = 3,03$$

$$R'_{3,\dot{don}} = \frac{R_3 \cdot R_{\epsilon}}{R_3 + R_{\epsilon}} R'_{3,\dot{don}} = \frac{7017}{1900} = 3,69$$

$$U_{np} = K_n^1 \cdot I_3 \cdot R_3 = 0,057 \cdot 1900 \cdot 2,044 = 221$$

$$\sqrt{S} = \sqrt{15 \cdot 20} = 15,5$$

$$U_3 = \frac{400}{0,057} = 7017 U_{np} \leq 0,1 \cdot 1000 + 1, I_k = \frac{U_{\phi}}{Z_{mp} / 3 + \sqrt{(R_{\phi} + R_{\pi}) + (X_{\phi} + X_{\pi} + X_n)^2}}$$

$$\left(\frac{a}{L_{\epsilon}} \right)_{cp} = \frac{1}{2} \left(\frac{a_B + a_A}{3} \right) =$$

$$a_A = \frac{A'}{n_A - 1} =$$

$$r_{\epsilon} = \frac{0,366 \cdot 108}{5} \cdot \left(lq \frac{2 \cdot 5}{12 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \cdot lq \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 24,4$$

$$I_{уст.эм} = 300 A > I_{пуск} = 144 A$$

$$I_{nl}^{mp} > 100 A$$

$$I_{nl}^{mp} \geq \frac{I_{пуск1} + I_{н2} + I_{н3}}{\alpha} = \frac{229,2 + 18,4 + 4,5}{2,5} = 100,8 A \quad (5.14)$$

$$r_{\epsilon} = \frac{r_{\epsilon} \cdot R_3}{R_{\epsilon} \cdot \eta} = \frac{24,4}{24,4 \cdot 0,57} = 9,13$$

$$I_3 = \frac{U_{\pi} \cdot (35 \cdot L_{кл} + L_{6л})}{350}$$

С учетом приведенного выше уравнения можно записать:

$$\varphi_c = \frac{I_3 \cdot \rho}{4 \cdot \pi \cdot m} + \frac{I_3 \cdot \rho}{4 \cdot \pi \cdot n} = \frac{I_3 \cdot \rho}{4 \cdot \pi} \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right), \quad (5.15)$$

где m и n – расстояния от центров действительного и фиктивного заземлителей до трубопровода (точки C), м:

$$m = \sqrt{x_2^2 + y^2} = \sqrt{x^2 + (t_2 - t_1)^2} = \sqrt{3^2 + (4 - 3)^2} = 3,16 \text{ м} \quad (5.16)$$

$$n = \sqrt{x^2 + (t_2 + t_1)^2} = \sqrt{3^2 + (4 + 3)^2} = 7,6 \text{ м} \quad (5.17)$$

Искомый потенциал на трубопроводе C :

$$\varphi_c = \frac{I_3 \cdot \rho}{4 \cdot \pi} \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right) = \frac{100 \cdot 100}{4 \cdot \pi} \left(\frac{1}{3,16} + \frac{1}{7,6} \right) = 360 \text{ В} \quad (5.18)$$

Ответ задачи: 360 В.

Задача

С металлического шара с радиусом $r = 0,5$ м, погруженного в землю на глубину $t_1 = 3$ м, стекает ток $I_3 = 80$ А, который подается к шару по изолированному проводу (см. рисунок к предыдущей решенной задаче).

Требуется определить потенциал φ_A на поверхности земли в точке A , находящейся на расстоянии $x = 3$ м от вертикали, проходящей через центр шарового заземлителя, и потенциал заземлителя (шара) φ_3 . Удельное сопротивление земли $\rho = 90$ Ом·м.

Ответ задачи: $\varphi_A = 270$ В; $\varphi_3 = 1240$ В.

Если Ваш ответ не совпал с приведенным, повторите раздел «Стекание тока в землю через одиночные заземлители».

Вопросы к практическому занятию

1. Дайте определение напряжения прикосновения.
2. Дайте определение напряжения шага
3. Стекание тока в землю через одиночные заземлители
4. Стекание тока в землю через групповые заземлители

Практическое занятие № 17

Сопротивление растеканию полушарового заземлителя

Теоретическая часть

Сопротивление заземлителя растеканию тока. Ток, проходящий через заземлитель в землю, преодолевает сопротивление, называемое сопротивлением заземлителя растеканию тока или просто сопротивлением растекания.

Оно имеет три слагаемых:

- сопротивление самого заземлителя;
- переходное сопротивление между заземлителем и грунтом (т.е. контактное сопротивление между поверхностью заземлителя и прилегающими к ней частицами земли);
- сопротивление грунта.

Два первых слагаемых по сравнению с третьим малы, поэтому под сопротивлением заземлителя растеканию тока понимают сопротивление грунта растеканию тока.

Поскольку плотность тока в земле на расстоянии больше 20 м от заземлителя практически равна нулю, можно считать, что сопротивление стекающему току ρ оказывает лишь соответствующий объем земли; для одиночного заземлителя это полусфера радиусом 20 м. Однако при разных формах и размерах заземлителя сопротивление этого объема земли различно.

Поэтому выражения для вычисления сопротивлений растеканию тока одиночных заземлителей различной формы имеют свои особенности:

- Сопротивление растеканию тока одиночного шарового заземлителя;
- Сопротивление растеканию тока полушарового заземлителя;
- Сопротивление растеканию тока одиночных заземлителей других типов.
- Сопротивление группового заземлителя растеканию тока при расстоянии между электродами более 40 м

При очень больших расстояниях между электродами группового

заземлителя (более 40 м) сопротивление всей группы заземляющих электродов в Ом, описывается равенством:

$$R_{\infty} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{1}{R_0}} \quad (17.1)$$

Если электроды одинаковы, а следовательно, одинаковы и их сопротивления растеканию, то сопротивление группового заземлителя в Ом, будет

$$R_{\infty} = \frac{R_0}{n} \quad (17.2)$$

До сих пор, рассматривая явления стекания тока в землю, мы считали, что земля во всем своем объеме однородна, т. е. в любой точке обладает одинаковым удельным сопротивлением ρ , Ом·м. В действительности земля имеет слоистое строение и реально необходимо определять сопротивления заземлителей растеканию тока в многослойных грунтах.

Сопротивление группового заземлителя растеканию тока зависит от количества электродов, входящих в состав группового, их собственных сопротивлений растеканию тока и расстояния между электродами:

- Сопротивление группового заземлителя растеканию тока при расстоянии между электродами более 40 м;
- Сопротивление группового заземлителя растеканию тока при расстоянии между электродами менее 40 м;
- Коэффициент использования группового заземлителя.

Сопротивление растеканию полушарового заземлителя радиусом r , м, получаем с использованием метода зеркального отображения (рисунок 17.1), полагая, что воздушное пространство над поверхностью земли заполнено средой

с таким же, как у земли, удельным сопротивлением ρ .

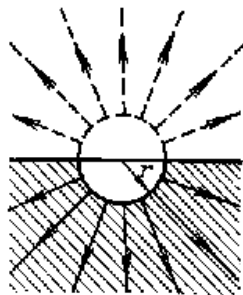


Рисунок 17.1 – Полушаровой заземлитель, расположенный у поверхности земли

В этом случае мы имеем дело с шаром, находящимся в однородной безграничной среде. Однако учитывая, что действительный электрод является полушаром, емкость его в 2 раза меньше, а сопротивление растеканию в 2 раза больше, чем целого шара. Значит, искомое сопротивление растеканию тока для полушарового заземлителя:

$$R_0 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (17.3)$$

Решение задач на растекание тока с групповых заземлителей

Задача

Ток I_3 стекает с группового заземлителя, состоящего из трех одинаковых полушаровых электродов радиусом $r = 0,5$ м, размещенных в вершинах равностороннего треугольника (см. рисунок 17.2).

Решение

Поскольку электроды одинаковы и находятся в одинаковых условиях, значения сопротивлений растеканию тока с них, токов, стекающих через них в землю, и их собственные потенциалы равны. При этом сопротивление

растеканию тока одиночного электрода:

$$R_0 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{120}{2 \cdot \pi \cdot 0,5} = 40 \text{ Ом} \quad (17.4)$$

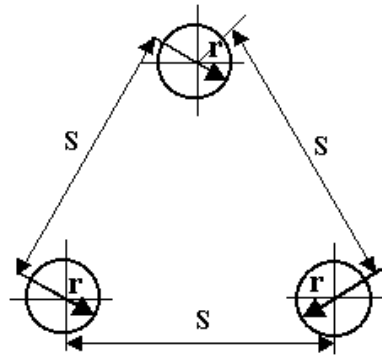


Рисунок 17.2 – Групповой заземлитель, состоящий из полушаровых электродов. Определить значение потенциала группового заземлителя $\varphi_{гр}$ при расстояниях между центрами электродов S , равных 2,5; 10; 40 м и значении удельного сопротивления грунта ρ , равном 120 Ом·м (земля однородная).

ток, стекающий через одиночный электрод в землю

$$I_0 = \frac{I_3}{n} = \frac{30}{3} = 10 \text{ А} \quad (17.5)$$

собственный потенциал одиночного электрода

$$\varphi_0 = I_0 R_0 = 10 \cdot 40 = 400 \text{ В.} \quad (17.6)$$

С учетом наведенных потенциалов φ_n на один из электродов потенциалами

двух других электродов потенциал группового заземлителя:

$$\varphi_{zp} = \varphi_0 + (n - 1)\varphi_n \quad (17.7)$$

Учитывая, что:

$$\varphi_n = \varphi_0 \cdot \frac{r}{s-r}, \quad (17.8)$$

получим:

$$\varphi_{zp} = \varphi_0 \cdot \frac{s+r}{s-r} = 400 \cdot \frac{s+0,5}{s-0,5} \quad (17.9)$$

Искомые значения потенциалов группового заземлителя будут равны:

при $S = 2,5$ м $\varphi_{zp} = 1,5$; $\varphi_0 = 600$ В;

при $S = 10$ м $\varphi_{zp} = 1,1$; $\varphi_0 = 440$ В;

при $S = 40$ м $\varphi_{zp} = 1,0$; $\varphi_0 = 400$ В.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что при уменьшении расстояний между одиночными электродами группового заземлителя значение потенциала группового заземлителя возрастает.

Ответ задачи: 600 В; 440 В; 400 В.

Решите аналогичные задачи самостоятельно.

Задача 1

Ток I_3 стекает в землю через групповой заземлитель, состоящий из двух одинаковых полушаровых заземлителей, расположенных в противолежащих углах квадрата со стороной $a = 40$ м. $I_3 = 20$ А; радиус каждого заземлителя $r = 0,5$ м; удельное сопротивление земли растеканию тока $\rho = 120$ Ом·м.

Определить: 1) потенциал группового заземлителя φ_{zp} ;

2) сопротивление группового заземлителя растеканию тока R_{zp} ;

Ответ задачи: $\varphi_{zp} = 382$ В, $R_{zp} = 19,1$ Ом.

Если Ваш ответ не совпал с приведенным, повторите разделы «Сопротивление растеканию тока группового заземлителя» и «Сопротивление

растеканию тока одиночного полушарового заземлителя»

Задача 2

Определить потенциал $\varphi_{гр}$, сопротивление $R_{зр}$ и коэффициент использования проводимости η группового заземлителя, состоящего из четырех полушаровых электродов одинакового размера, расположенных на прямой линии (см. рисунок 17.3). Электроды соединены между собой проводником, размещенным над землей.

Радиус каждого полушарового электрода $r = 0,05$ м; расстояние между соседними электродами $a = 1$ м, $b = 25$ м, земля однородная с удельным сопротивлением $\rho = 100$ Ом·м. Показания амперметра $I_0 = 5$ А.

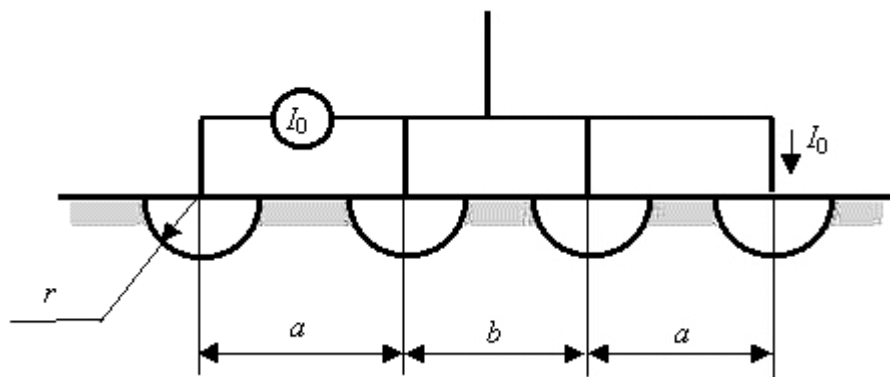


Рисунок 17.3 – Групповой заземлитель, состоящий из четырех полушаровых электродов одинакового размера, расположенных на прямой линии

Ответ задачи: $\eta = 0,65$; $\varphi_{гр} = 1670$ В; $R_{зр} = 83,7$ Ом.

Если Ваш ответ не совпал с приведенным, повторите разделы «Сопротивление растеканию тока одиночного и группового заземлителя»

1 Решите задачу: Ток I_3 стекает в землю через групповой заземлитель, состоящий из четырех одинаковых полушаровых заземлителей, расположенных в углах квадрата со стороной $a = 40$ м.

Дано: $I_3 = 28$ А; радиус каждого заземлителя $r = 0,5$ м; удельное

сопротивление земли растеканию тока $\rho = 120 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Определить:

- 1) потенциал группового заземлителя $\varphi_{гр}$;
- 2) сопротивление группового заземлителя растеканию тока $R_{зр}$;
- 3) как изменятся полученные значения $\varphi_{гр}$ и $R_{зр}$ при уменьшении расстояния a между заземлителями.

Варианты ответа:

а) $\varphi_{гр} = 487,4 \text{ В}$, $R_{зр} = 19,64 \text{ Ом}$, при уменьшении a увеличится только значение $\varphi_{гр}$;

б) $\varphi_{гр} = 300,9 \text{ В}$, $R_{зр} = 12,65 \text{ Ом}$, при уменьшении a уменьшатся значения $\varphi_{гр}$ и $R_{зр}$;

в) $\varphi_{гр} = 267,4 \text{ В}$, $R_{зр} = 9,55 \text{ Ом}$, при уменьшении a увеличатся значения $\varphi_{гр}$ и $R_{зр}$;

г) $\varphi_{гр} = 170,63 \text{ В}$, $R_{зр} = 5,45 \text{ Ом}$, при уменьшении a уменьшится значение $R_{зр}$;

д) $\varphi_{гр} = 1200 \text{ В}$, $R_{зр} = 100 \text{ Ом}$, при уменьшении a значения $\varphi_{гр}$ и $R_{зр}$ не изменятся.

2 Решите задачу: Стеkanie тока в землю происходит с круглой пластины, лежащей на поверхности земли. Сопротивление пластины растеканию тока определяется по формуле

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot D}, \quad (6.10)$$

где $D = 1 \text{ м}$ – диаметр пластины.

Дано: $I_3 = 5 \text{ А}$; сопротивление тела человека $R_h = 1 \text{ кОм}$; коэффициент напряжения шага, учитывающий форму потенциальной кривой $\beta = 0.8$, сопротивление растеканию тока с одной ноги человека $R_n = 2 \text{ кОм}$; удельное сопротивление грунта растеканию тока $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Определить: ток I_h , протекающий через тело человека, находящегося в поле

растекания тока, по пути "нога-нога".

Варианты ответа: 20 мА; 38 мА; 63 мА; 100 мА; 50 мА.

3 Решите задачу: Стеkanie тока в землю происходит с полушарового заземлителя.

Дано: $I_3 = 62,8$ А; удельное сопротивление грунта растеканию тока $\rho = 100$ Ом·м.

Определить: на каком расстоянии до полушарового заземлителя напряжение шага будет равно длительно допустимому значению, если принять размер шага человека $a = 1$ м.

Варианты ответа: 18 м; 4 м; 12 м; 8 м; 5 м

4 Решите задачу: Групповой заземлитель состоит из четырех полушаровых электродов, расположенных в вершинах квадрата со стороной $a = 3$ м (см. рисунок 17.4).

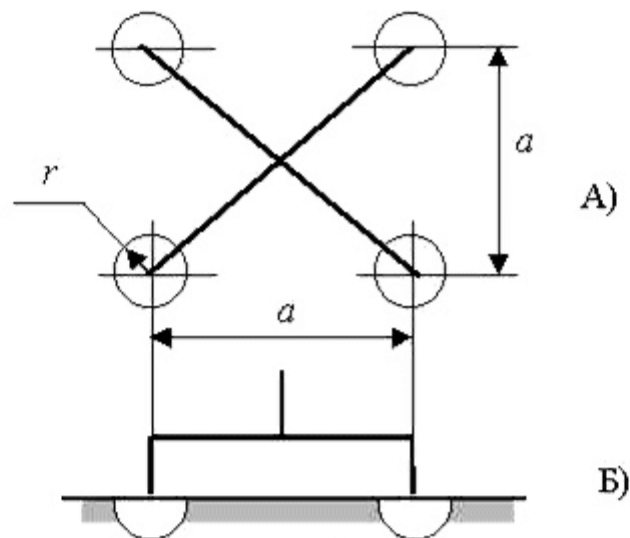


Рисунок 17.4 – Групповой заземлитель, состоящий из четырёх полушаровых электродов, размещенных в вершинах квадрата:

а) вид сверху,

б) вид сбоку

Дано: Радиус электродов $r = 0,5$ м; земля однородная с удельным

сопротивлением $\rho = 157 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Определить: коэффициент использования h и сопротивление $R_{\text{гp}}$ группового заземлителя.

Варианты ответа:

а) $h = 0,35$, $R_{\text{гp}} = 34,5 \text{ Ом}$;

б) $h = 0,65$, $R_{\text{гp}} = 19,2 \text{ Ом}$;

в) $h = 0,8$, $R_{\text{гp}} = 14,1 \text{ Ом}$;

г) $h = 0,75$, $R_{\text{гp}} = 20,3 \text{ Ом}$;

д) $h = 0,5$, $R_{\text{гp}} = 20 \text{ Ом}$.

5 Решите задачу: Корпус электроустановки заземлен через полушаровой заземлитель.

Дано: максимальное значение тока через заземлитель $I_z = 3 \text{ А}$; удельное сопротивление грунта растеканию тока $\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Определить: Радиус полушарового заземлителя, необходимый для обеспечения безопасности человека, касающегося заземленного корпуса электроустановки при замыкании фазы на этот корпус, если допустимое напряжение прикосновения равно 100 В . Максимальное расстояние от человека до заземлителя $x = 10 \text{ м}$.

Варианты ответа: 1 м ; $0,4 \text{ м}$; $1,2 \text{ м}$; $0,25 \text{ м}$; $0,8 \text{ м}$

Вопросы к практическому занятию

1. Дайте определение полушарового заземлителя
2. Из каких слагаемых состоит сопротивление растекания.
3. Формы сопротивлений растеканию тока одиночных заземлителей

Практическое занятие № 18

Расчет защитного зануления на отключающую способность

Цель практического занятия – ознакомить студентов с назначением, устройством, принципом действия защитного зануления и методикой расчета защитного зануления на отключающую способность.

Теоретическая часть

Назначение, устройство, принцип действия защитного зануления

Защитное зануление, также как и защитное заземление, является одной из мер защиты от опасности косвенного прикосновения и обеспечивает безопасность за счет ограничения времени воздействия тока.

Выполняется защитное зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ систем $TN - C$, $TN - S$ и $TN - C - S$ и представляет собой преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью источника питания посредством нулевых защитных проводников.

Первая буква в обозначении системы определяет состояние нейтрали источника питания относительно земли: T – заземленная нейтраль; вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли: N – открытые проводящие части присоединены к глухозаземленной нейтрали источника питания; третья буква – функции нулевого проводника: C – функции нулевого защитного (PE) и нулевого рабочего (N) проводников совмещены в одном проводнике (PEN -проводник); S – нулевой рабочий (N) и нулевой защитный (PE) проводники разделены; $C - S$ – функции нулевого защитного и рабочего проводников совмещены, начиная от источника питания, с последующим разделением функций.

Система $TN - C$ является четырехпроводной системой трехфазного переменного тока с глухозаземленной нейтралью источника питания (рисунок 18.1)

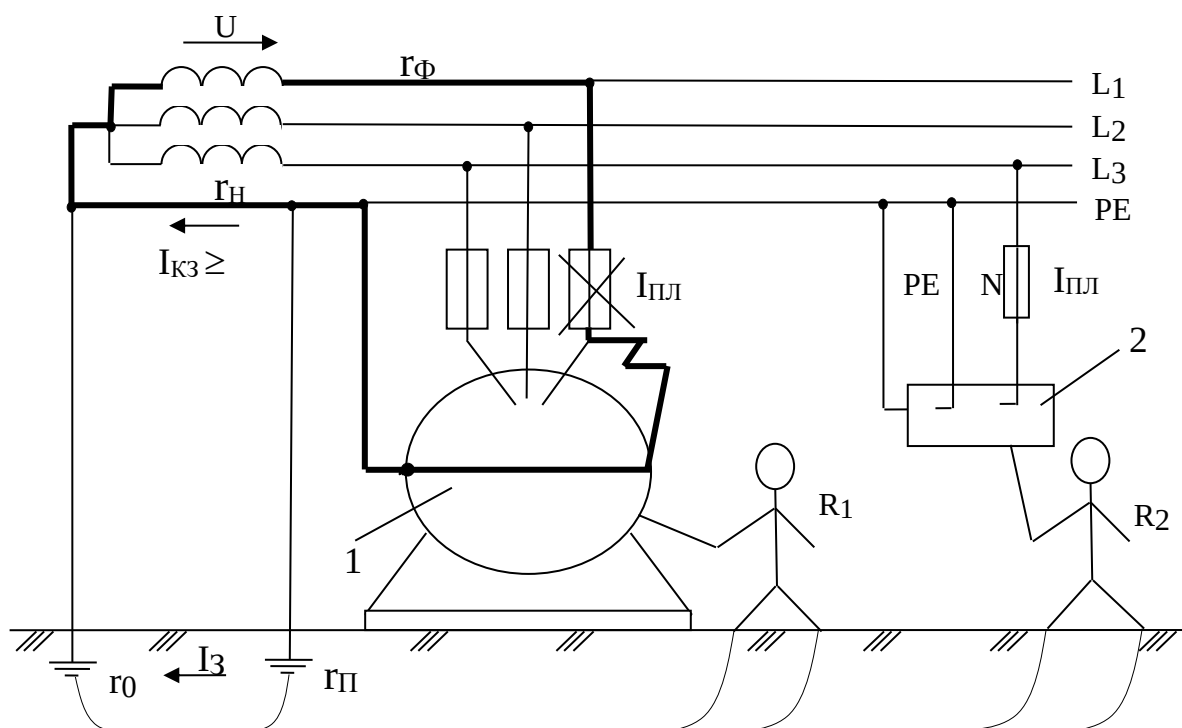


Рисунок 18.1 – Схема защитного зануления в системе $TN - C$:

1 – трехфазный потребитель; 2 – однофазный потребитель; L_1, L_2, L_3 – линейные проводники; PE – защитный нулевой проводник; N – рабочий нулевой проводник; PEN – совмещенный защитный и рабочий нулевой проводник; r_ϕ – сопротивление фазного провода; r_n – сопротивление нулевого проводника; r_0 – сопротивление рабочего заземления; r_n – сопротивление повторного заземления нулевого проводника; R_1 и R_2 – сопротивления человека; $I_{кз}$ – ток короткого замыкания; I_3 – ток, протекающий через заземляющие устройства; $I_{пл}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя; U – фазное напряжение сети

Цель защитного зануления – нарушение изоляции на открытые проводящие части электроустановок превратить в однофазное короткое замыкание, создать в петле «фаза – нуль» (жирно обведенная цепь) ток короткого замыкания, достаточный для срабатывания защиты и отключения поврежденного участка в минимально необходимое время (согласно ПУЭ [7] при фазном напряжении 220 В – 0,4с).

При несрабатывании защиты в указанное время человек будет длительно находиться под напряжением прикосновения $U_{\text{пр}}$ (если пренебречь малым сопротивлением r_o), равном падению напряжения в нулевом проводнике U_n , и это напряжение будет вынесено на все зануленное оборудование (рисунок 18.2).

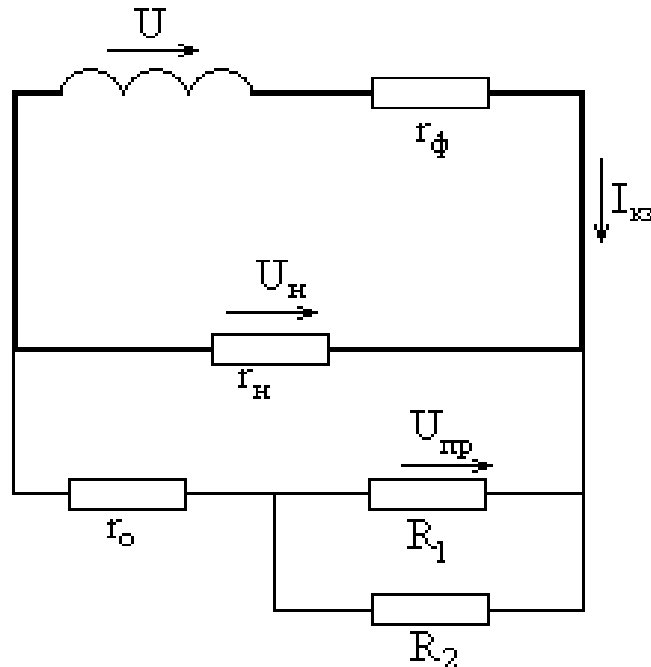


Рисунок 18.2 – Схема замещения петли «фаза – нуль»:

r_ϕ – сопротивление фазного проводника; r_n – сопротивление нулевого проводника; r_o – сопротивление рабочего заземления; R_1 и R_2 – сопротивления человека; $U_{\text{пр}}$ – напряжение прикосновения; U_n – падение напряжения в нулевом проводнике; U – фазное напряжение сети; $I_{\text{кз}}$ – ток короткого замыкания

Как правило, сопротивление нулевого проводника r_n выше сопротивления фазного r_ϕ , поэтому падение напряжения в нулевом проводнике U_n и соответственно напряжение прикосновения $U_{\text{пр}}$ составляет больше половины фазного напряжения.

Снижение напряжения прикосновения при защитном занулении обеспечивается дополнительной мерой защиты – повторным заземлением нулевого проводника r_n (рисунок 18.3).

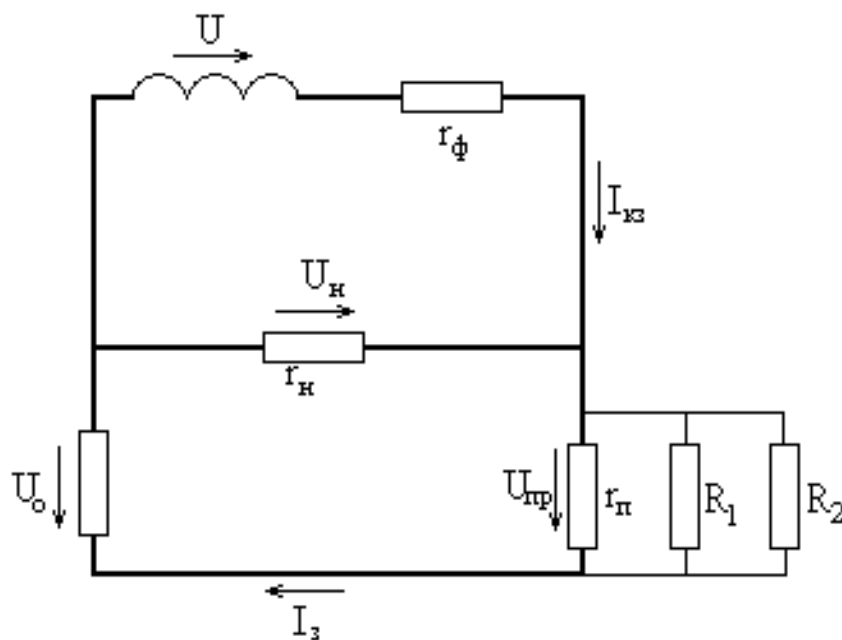


Рисунок 18.3 – Схема замещения при наличии повторного заземления нулевого проводника:

r_ϕ – сопротивление фазного проводника; r_n – сопротивление нулевого проводника; r_o – сопротивление рабочего заземления; $r_{п}$ – сопротивление повторного заземления нулевого проводника; R_1 и R_2 – сопротивления человека; $U_{пр}$ – напряжение прикосновения; U_n – падение напряжения в нулевом проводнике; U – фазное напряжение сети. $I_{кз}$ – ток короткого замыкания; $I_з$ – ток, протекающий через заземляющие устройства

Если принять $r_o = r_{п}$, то падение напряжения на сопротивлении повторного заземления $U_{п}$ составит половину падения напряжения в нулевом проводнике. Как правило, оно значительно выше допустимых 50 В.

Поэтому повторное заземление нулевого проводника должно рассматриваться как вспомогательная мера защиты, смягчающая аварийный режим при длительном срабатывании защиты или обрыве нулевого проводника.

Безопасность при защитном занулении может быть обеспечена только ограничением времени воздействия тока. С целью обеспечения срабатывания защиты в минимально необходимое время Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) [9] регламентируют ток короткого замыкания.

При защите предохранителями:

$$I_{\kappa 3} \geq 3 \cdot I_{\text{пл.вст}} \quad (18.1)$$

при защите автоматическими выключателями с электромагнитным расцепителем:

$$I_{\kappa 3} \geq 1,1 \cdot I_y \quad (18.2)$$

при защите автоматическими выключателями, имеющими обратную зависимость от тока характеристику:

$$I_{\kappa 3} \geq 3 \cdot I_p \quad (18.3)$$

где $I_{\kappa 3}$ – необходимый для срабатывания защиты ток короткого замыкания, А;
 $I_{\text{пл.вст}}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А;
 I_y – ток уставки (отсечки) автоматического выключателя, имеющего только электромагнитный расцепитель, А;
 I_p – номинальный ток нерегулируемого расцепителя или уставка тока регулируемого расцепителя, А.

Расчет защитного зануления на отключающую способность проводится с целью определения соответствия фактического значения тока короткого замыкания в петле «фаза-нуль» требованиям ПТЭЭП.

Фактическое значение тока короткого замыкания в петле «фаза – нуль» с достаточной для практики точностью определяется по формуле:

$$I_{\kappa 3}^1 = \frac{U}{Z_m / 3 + Z_n} \quad (18.4)$$

где $I_{\kappa 3}^1$ – ток короткого замыкания в петле «фаза-нуль», А;
 U – фазное напряжение сети, В;
 Z_T – полное сопротивление обмоток источника питания, Ом;
 Z_n – полное сопротивление фазного и защитного нулевого проводников, Ом;

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + (X_\phi + X_n + X_n)^2}, \quad (18.5)$$

где R_ϕ и R_n – соответственно активные сопротивления фазного и защитного нулевого проводников, Ом;

X_ϕ и X_n – соответственно внутренние индуктивные сопротивления фазного и защитного нулевого проводников, Ом;

X_n – внешнее индуктивное сопротивление фазного и защитного нулевого проводников, Ом.

Учитывая равенства (18.4) и (18.5), величина тока короткого замыкания в петле «фаза – нуль» определяется по формуле:

$$I_{\kappa\text{з}}^1 = \frac{U}{Z_m / 3 + \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + (X_\phi + X_n + X_n)^2}}, \quad (18.6)$$

Активные сопротивления фазных и защитных нулевых проводников определяются по формуле:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (18.7)$$

где R – активное сопротивление проводника, Ом;

ρ – удельное сопротивление материала проводника, Ом · мм²/м;

l – длина проводника, м;

S – площадь сечения проводника, мм².

Активные сопротивления можно определить посредством погонного сопротивления по формуле:

$$R = R' \cdot l, \quad (18.8)$$

где R' – активное погонное сопротивление проводника, Ом/км;

l – длина проводника, км.

Внешнее индуктивное сопротивление фазного и защитного нулевого проводников определяется по формуле:

$$X_n = 2 \cdot f \cdot \mu \cdot l \cdot \lg\left(\frac{2 \cdot D}{d}\right) \quad (18.9)$$

где X_n – внешнее индуктивное сопротивление фазного и защитного нулевого проводников, Ом; f – частота переменного тока, Гц; l – длина линии, м;

D – расстояние между проводами, мм; d – диаметр провода, мм;

μ – абсолютная магнитная проницаемость среды, Гн/м;

$$\mu = \mu_c \cdot \mu_0 \quad (18.10)$$

где μ_c – относительная магнитная проницаемость среды;

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \quad - \quad \text{магнитная постоянная.}$$

Полные сопротивления обмоток масляных и сухих трансформаторов Z_T приведены соответственно в таблицах 18.1 и 18.2.

Таблица 18.1 – Приближенные значения полных сопротивлений Z_T обмоток масляных трансформаторов

Мощность трансформатора, кВ·А	Номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, кВ	Z_T , Ом, при схеме соединения обмоток		Мощность трансформатора, кВ·А	Номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, кВ	Z_T , Ом, при схеме соединения обмоток	
		Y/Y_H	Δ/Y_H и Y/Z_H			Y/Y_H	Δ/Y_H и Y/Z_H
25	6-10	3,110	0,906	400	6-10	0,195	0,056
40	6-10	1,949	0,562		20-35	0,191	-
63	6-10	1,237	0,360	630	6-10	0,129	0,042
	20-35	1,136	0,407		20-35	0,121	-
100	6-10	0,799	0,226	1000	6-10	0,081	0,027
	20-35	0,764	0,327		20-35	0,077	0,032
160	6-10	0,487	0,141	1600	6-10	0,054	0,017
	20-35	0,478	0,203		20-35	0,051	0,020
250	6-10	0,312	0,090				
	20-35	0,305	0,130				

Таблица 18.2 – Приближенные значения полных сопротивлений Z_T обмоток сухих трансформаторов

Мощность трансформатора, кВ·А	Схема соединения обмоток	Z_T , Ом	Мощность трансформатора, кВ·А	Схема соединения обмоток	Z_T , Ом
160	Δ/Y_H	0,165	560	Y/Y_H	0,13
180	Y/Y_H	0,453	630	Δ/Y_H	0,042
250	Δ/Y_H	0,106	750	Y/Y_H	0,109
320	Y/Y_H	0,254	1000	Δ/Y_H	0,027
400	Δ/Y_H	0,066			

Внешнее индуктивное сопротивление фазного и защитного нулевого проводников можно определить посредством погонного внешнего индуктивного сопротивления по формуле

$$X_{\Pi} = X'_{\Pi} \cdot l, \quad (18.11)$$

где X'_{Π} – внешнее индуктивное погонное сопротивление, Ом/км;

l – длина линии, км;

Внутреннее индуктивное сопротивление фазных X_{ϕ} и нулевых защитных X_n проводников можно определить посредством внутреннего индуктивного погонного сопротивления по формуле

$$X = X' \cdot l, \quad (18.12)$$

где X' – внутреннее индуктивное погонное сопротивление проводника, Ом/км;

l – длина проводника, км.

Внутреннее индуктивное погонное сопротивление медных и алюминиевых проводников сравнительно мало $X' = 0,00156$ Ом/км, поэтому значениями X_{ϕ} и X_n в формуле 18.6 иногда пренебрегают.

Погонные активные R' и внешние индуктивные X'_{Π} сопротивления фазных и нулевых защитных проводников из цветных металлов приведены в таблице 18.3, погонные активные R'_c и внутренние индуктивные X'_c сопротивления стальных проводников – в таблице 18.4.

Таблица 18.3 – Погонное активное R' и внешнее индуктивное X'_{Π} сопротивления, Ом/км, фазных и нулевых защитных проводников при частоте тока 50 Гц

Площадь сечения, мм ²	R' проводов или жил кабеля при 20° С		X'_{Π} алюминиевых и сталеалюминиевых проводов ВЛ при среднем расстоянии между проводами, мм					X'_{Π} проводов и кабелей	
	медных	алюминиевых или сталеалюминиевых	800	1000	1500	2000	2500	провод проложен открыто	провод в трубах или кабеле
10	1,64	3,14	-	-	-	-	-	0,31	0,07

16	1,2	1,96	0,374	0,389	0,411	0,48	0,442	0,29	0,07
25	0,74	1,27	0,362	0,376	0,398	0,407	0,417	0,27	0,07
35	0,54	0,91	0,349	0,364	0,388	0,404	0,412	0,26	0,06
50	0,39	0,63	0,339	0,354	0,377	0,395	0,409	0,25	0,06
70	0,28	0,45	0,329	0,343	0,367	0,385	0,399	0,24	0,06
95	0,2	0,33	0,318	0,332	0,355	0,374	0,389	0,23	0,06
120	0,158	0,27	0,315	0,325	0,349	0,368	0,382	0,22	0,06
150	0,123	0,21	0,311	0,315	0,344	0,36	0,374	0,21	0,06
185	0,103	0,17	0,289	0,311	0,339	0,355	0,37	0,21	0,06
240	0,078	0,131	-	0,304	0,329	0,347	0,361	0,2	0,06
300	0,063	0,105	-	0,297	0,322	0,34	0,354	0,19	0,06

Таблица 18.4 – Погонное активное R'_c и внутреннее индуктивное X'_c сопротивления, Ом/км, стальных проводников при частоте тока 50 Гц

Размеры (или диаметр) сечения, мм ²	Сечение , мм ²	Ожидаемая плотность тока в проводнике А/мм ²							
		0,5		1,0		1,5		2,0	
		R'_c	X'_c	R'_c	X'_c	R'_c	X'_c	R'_c	X'_c
Полоса прямоугольного сечения									
20 X 4	80	5,24	3,14	4,20	2,52	3,48	2,09	2,97	1,78
30 X 40	120	3,66	2,20	2,91	1,75	2,38	1,43	2,04	1,22
30 X 5	150	3,38	2,03	2,56	1,54	2,08	1,25	-	-
40 X 4	160	2,80	1,68	2,24	1,34	1,81	1,09	1,54	0,92
50 X 4	200	2,28	1,37	1,79	1,07	1,45	0,87	1,24	0,74
50 X 5	250	2,10	1,26	1,60	0,96	1,28	0,77	-	-
60 X 5	300	1,77	1,06	1,34	0,8	1,08	0,65	-	-
Проводник круглого сечения									
5	19,63	17,0	10,2	14,4	8,65	12,4	7,45	10,7	6,4
6	28,27	13,7	8,20	11,2	6,70	9,4	5,65	8,0	4,8
8	50,27	9,60	5,75	7,5	4,50	6,4	3,84	5,3	3,2
10	78,54	7,20	4,32	5,4	3,24	4,20	2,52	-	-
12	113,1	5,60	3,36	4,0	2,40	-	-	-	-
14	150,9	4,55	2,73	3,2	1,92	-	-	-	-
16	201,1	72	2,23	2,7	1,60	-	-	-	-

Исходные данные к расчету защитного зануления на отключающую способность

- 1 Тип, мощность, номинальное напряжение обмоток высшего напряжения, схема соединения обмоток трансформатора.
- 2 Материал, сечение фазных и нулевых проводников и длина линии.
- 3 Вид автоматической защиты линии и ее параметры.

Последовательность расчета

- 1 Определяется требуемое ПТЭЭП значение тока короткого замыкания $I_{кз}^{тр}$.
- 2 Определяется фактическое значение тока короткого замыкания в петле «фаза–нуль» $I_{кз}^{факт}$.
- 3 На основании сравнения значений $I_{кз}^{тр}$ и $I_{кз}^{факт}$ дается заключение об отключающей способности защитного зануления.

Пример расчета

Произвести расчет защитного зануления вводного устройства электроустановки на отключающую способность.

Исходные данные:

- источник питания: масляный трансформатор мощностью $S = 400$ кВ·А, напряжение 6 / 0,4 кВ, схема соединения обмоток Y/Y₀.
- питающий кабель: четырехжильный с медными жилами 3 x 120 мм² и 1 x 70 мм²;
- длина питающей линии $l = 0,25$ км;
- линия защищена предохранителем ПН2 – 400 с номинальным током плавной вставки $I_{пл} = 300$ А (рисунок 18.4).

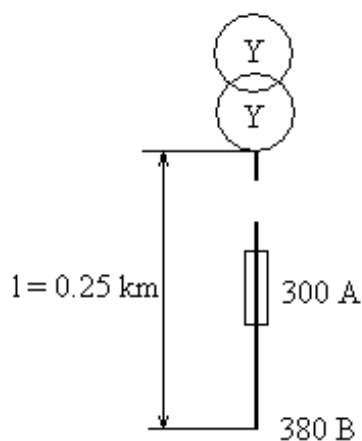


Рисунок 18.4 – К расчету защитного зануления на отключающую способность

1 Определяем требуемое ПТЭЭП значение тока короткого замыкания по формуле 18.1:

$$I_{\text{кз}}^{\text{факт}} = 3 \cdot 300 = 900 \text{ A.}$$

2 Определяем величину тока короткого замыкания в петле «фаза – нуль» по формуле 18.6:

$$I_{\text{кз}}^{\text{факт}} = \frac{U}{Z_{\text{мп}} / 3 + \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (X_{\phi} + X_n + X_n)^2}}$$

Фазное напряжение сети $U = 220 \text{ В}$.

Полное сопротивление обмоток масляного трансформатора мощностью $S = 400 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, напряжением 6/0,4 кВ при схеме Y/Y₀ по таблице 18.1

$$Z_T = 0,195 \text{ Ом.}$$

Погонное активное сопротивление медного проводника сечением 120 мм² по таблице 18.3

$$R' = 0,158 \text{ Ом/км.}$$

Активное сопротивление фазного проводника по формуле 7.8:

$$R_{\phi} = 0,158 \cdot 0,25 = 0,0395 \text{ Ом.}$$

Погонное активное сопротивление медного проводника сечением 70 мм по таблице 18.3:

$$R' = 0,28 \text{ Ом/км.}$$

Активное сопротивление нулевого защитного проводника по формуле 7.8:

$$R_n = 0,28 \cdot 0,25 = 0,07 \text{ Ом.}$$

Внутреннее индуктивное погонное сопротивление медных проводников:

$$X' = 0,0156 \text{ Ом/км.}$$

Внутреннее индуктивное сопротивление фазного и нулевого защитного проводников по формуле 18.12:

$$X_{\Phi} = X_{\text{н}} = 0,0156 \cdot 0,25 = 0,0039 \text{ Ом.}$$

Погонное внешнее индуктивное сопротивление кабельной линии по таблице 18.3:

$$X'_{\text{л}} = 0,06 \text{ Ом/км.}$$

Внешнее индуктивное сопротивление фазного и защитного нулевого проводников по формуле 18.11:

$$X_{\text{н}} = 0,06 \cdot 0,25 = 0,015 \text{ Ом;}$$

$$I_{\text{кз}}^{\text{факт}} = \frac{220}{0,195/3 + \sqrt{(0,0395 + 0,07)^2 + (0,0039 + 0,0039 + 0,015)^2}} = 1260$$

Вывод: фактическое значение тока короткого замыкания в петле «фаза – нуль» $I_{\text{кз}}^{\text{факт}} = 1260 \text{ А}$, требуемое значение тока короткого замыкания $I_{\text{кз}}^{\text{тр}} = 900 \text{ А}$; следовательно, отключающая способность защитного зануления обеспечена.

Задача 1.

Проверить обеспеченна ли отключающая способность зануления в сети. Линия 380/220 В с медными проводами $3 \times 25 \text{ мм}^2$ питается от трансформатора мощностью $S \text{ кВ} \cdot \text{А}$, 6/0,4 кВ. Защита двигателей плавкими предохранителями $I_{\text{ном1}} = 125 \text{ А}$, $I_{\text{ном2}} = 80 \text{ А}$. Материал нулевого защитного проводника – сталь. Коэффициент кратности тока $k = 3$.

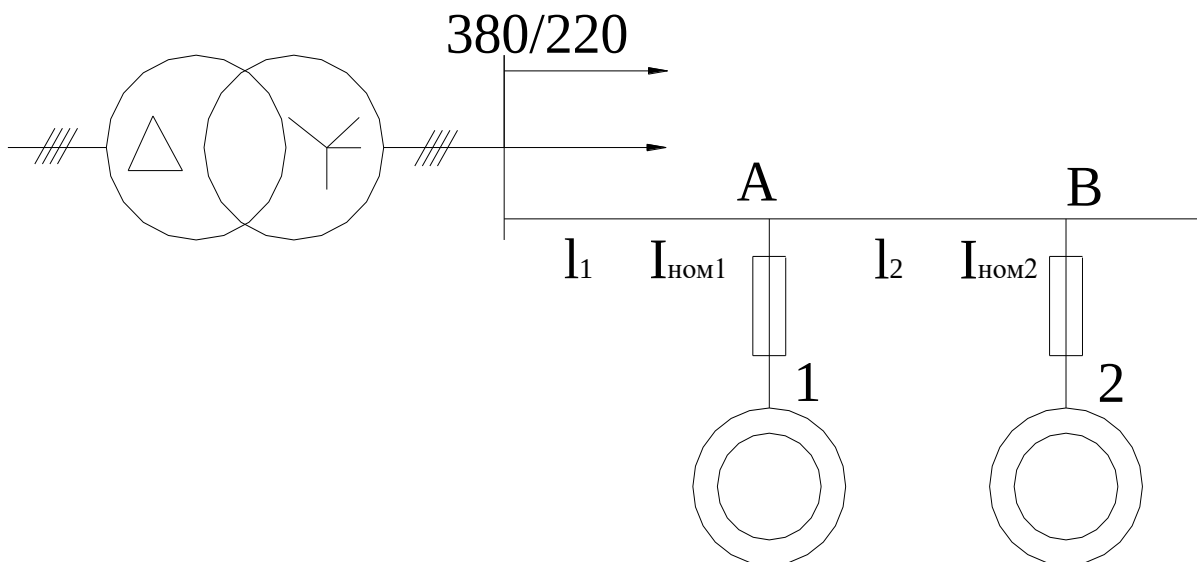


Рисунок 7.5 – Схема сети к заданию

Решение сводится к проверке условий срабатывания защиты.

Наименьший допустимый ток

$$1 \text{ двигатель } I_{k1} = k \cdot I_{ном1}, \text{ А} \quad 2 \text{ двигатель } I_{k2} = k \cdot I_{ном2}, \text{ А}$$

Сопротивления фазного и защитного нулевого проводников на участке линии L_1

$$R_\phi = 0,018 \cdot \frac{L_1}{S}, \text{ Ом}$$

Так как фазный провод медный принимаем $X_\phi = 0$.

Для нулевого защитного проводника, ожидаемая плотность тока:

$$J = \frac{I_{k1}}{S}, \text{ А/мм}^2$$

По таблице, находим для полосы с заданным сечением и полученной плотностью тока r_ω Ом/км.

$$\text{Тогда искомое сопротивление } R_{H.3.} = r_\omega \cdot L_1, \text{ Ом}$$

Аналогично для I_{k1} , А и J , А/мм² находим x_ω , Ом/мм.

$$X_{H.3.} = x_\omega \cdot L_1, \text{ Ом}$$

Принимаем $X_n = 0,6$ Ом/км, значит $X_n = 0,6 \cdot L_1$ Ом.

Определяем сопротивления фазного и нулевого проводников на всей длине линии $\cdot (L_1 + L_2)$:

$$R_{\phi} = 0,018 (L_1 + L_2) / S \text{ Ом}$$

Ожидаемая плотность тока

$$J = \frac{I_{k2}}{S}, \text{ А/мм}^2$$

Находим для нулевого проводника, r_{ω} , x_{ω} и $R_{н.з}$, $X_{н.з}$

$$X_n = 0,6 \cdot (L_1 + L_2), \text{ Ом}$$

Находим действительные значения токов однофазного КЗ. и сравниваем с наименьшими допустимыми по условию срабатывания.

$$I_{кз}^{факт} = \frac{U}{Z_{mp} / 3 + \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (X_{\phi} + X_n + X_n)^2}}$$

Таблица 18.5 – Варианты заданий

№ вар.	S, кВ·А	L ₁ , м	L ₂ , м	Сечение н.п, мм ²	Схема соединения тр-ра.
1	25	200	150	40×4	Y/Y
2	40	250	200	20×4	Y/Y
3	63	300	250	30×4	Y/Y
4	100	150	180	40×4	Y/Y
5	160	250	200	30×4	Y/Y
6	250	200	150	20×4	Y/Y
7	400	300	180	50×4	Y/Y
8	630	150	150	30×4	Y/Y
9	100	180	200	30×4	Δ/Y
10	250	250	200	40×4	Δ/Y
11	160	300	250	30×4	Δ/Y
12	630	200	100	30×4	Δ/Y
13	400	250	200	50×4	Δ/Y
14	63	150	100	40×4	Δ/Y
15	40	150	180	50×4	Δ/Y

Контрольные вопросы

- 1 В электроустановках каких систем выполняется защитное зануление?
- 2 Назначение и принцип действия защитного зануления.

3 С какой целью выполняется повторное заземление нулевого провода?

4 Какие требования предъявляются к току короткого замыкания?

5 Назовите составляющие петли «фаза-нуль».

6 Какова цель расчета защитного зануления на отключающую способность?

7 Какие исходные данные необходимы для расчета защитного зануления на отключающую способность?

8 Какова последовательность расчета защитного зануления на отключающую способность?

Практическое занятие № 19

Выбор аппаратов защиты в электроустановках

Цель практического занятия – познакомить студентов с назначением, устройством, принципом действия, характеристиками, выбором и методикой расчета параметров наиболее распространенных аппаратов защиты приемников электрической энергии (электроприемников).

Теоретическая часть

Назначение и требования к аппаратам защиты

Аппараты защиты служат для отключения электроприемников при возникновении в них ненормальных режимов, угрожающих работоспособности самих электроприемников и безопасности обслуживающего персонала.

В частности, являясь одним из элементов системы защитного зануления (система TN), аппараты защиты должны обеспечивать надежное и быстрое отключение электроприемников при повреждении основной изоляции на открытые проводящие части, предотвращая тем самым опасность косвенного прикосновения. Следовательно, от правильного выбора аппаратов защиты и их параметров существенно зависят и эффективность системы защитного зануления, и электробезопасность обслуживающего персонала.

Для эффективного выполнения своих защитных функций аппараты защиты должны отвечать следующим требованиям:

- высокая чувствительность, которая проявляется в способности аппаратов защиты реагировать на достаточно малые отклонения режима работы электроприемника от нормального, что оказывает непосредственное влияние на степень безопасности обслуживающего персонала.

- недопустимость ложных отключений. Аппараты защиты должны надежно отключать электроприемники при возникновении аварийного режима, но не допускать отключения электроприемников при кратковременных токовых

перегрузках (пусковые токи, броски тока при технологических перегрузках и т.п.).

– малое время отключения. Под временем отключения понимают период времени с момента возникновения аварийного режима до момента разрыва цепи тока аппаратом защиты. Чем меньше время отключения, тем выше степень безопасности, так как с уменьшением времени прохождения тока через тело человека опасность воздействия тока снижается.

– селективность (избирательность) действия. Селективность действия аппаратов защиты проявляется в их способности отключать от сети только поврежденные электроприемники и не допускать отключения исправных. Иными словами, под селективным действием аппаратов защиты следует понимать такую их работу, когда на появление ненормального режима работы (короткие замыкания, перегрузки и т.п.) реагирует только ближайший к поврежденному электроприемнику аппарат защиты и не реагируют более удаленные аппараты. Это требование очень важное, так как не селективность действия аппаратов защиты приводит к ложному отключению исправных электроприемников, что может иметь нежелательные последствия.

Приведенные выше требования обязательно должны учитываться при выборе аппаратов защиты и их технических характеристик.

Аппараты защиты и их характеристики

В настоящее время в электроустановках применяется целый ряд аппаратов защиты: плавкие предохранители, воздушные автоматические выключатели (автоматы), реле защиты, устройства защитного отключения (УЗО).

В электроустановках потребителей наиболее широкое применение находят плавкие предохранители и автоматы.

1 Плавкие предохранители. Устройство плавкого предохранителя показано на рисунке 19.1. Конструктивно он состоит из корпуса 1, выполненного из изоляционного материала (фарфор или фибра), плавкой вставки 2, и

металлических контактных колпачков 3, к которым присоединяется плавкая вставка.

Основным элементом предохранителя, непосредственно осуществляющим защитные функции, является плавкая вставка 2, которая выполняется в виде металлической нити или пластины.

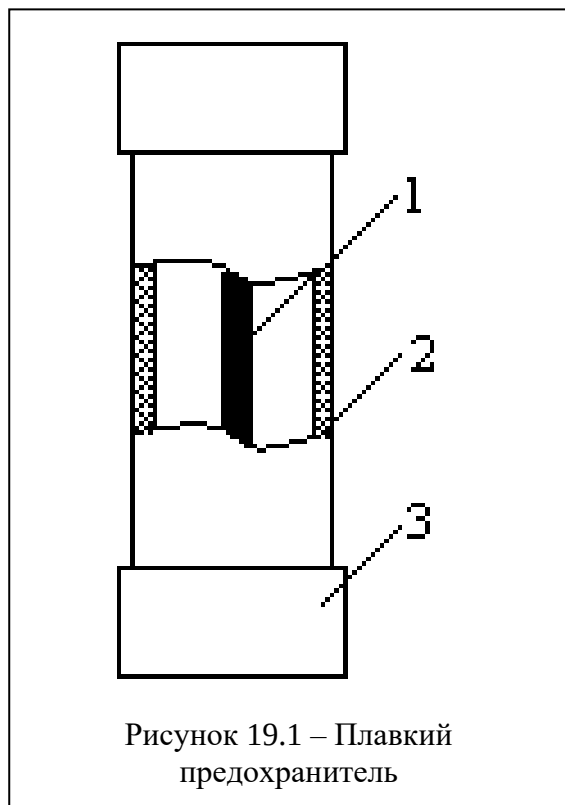


Рисунок 19.1 – Плавкий предохранитель

Принцип действия плавкого предохранителя заключается в том, что повышение тока сверх нормированной величины приводит к повышению температуры плавкой вставки и к ее расплавлению (перегоранию), в результате чего цепь электрического тока прерывается. Особенностью плавких вставок является то, что они обладают тепловой инерцией, из-за которой их расплавление происходит не мгновенно, а с задержкой по времени, в течение которой их температура повышается до температуры плавления.

Причем, чем больший ток протекает через плавкую вставку, тем быстрее повышается ее температура и тем меньше требуется времени, чтобы она расплавилась. Таким образом, тепловая инерционность плавких вставок приводит к тому, что плавкие предохранители имеют обратно зависимую от тока временную характеристику.

Плавкие предохранители имеют свои достоинства и недостатки, которые следует учитывать при их выборе.

К достоинствам плавких предохранителей можно отнести простоту их конструкции, относительную дешевизну, безотказность в работе.

К недостаткам плавких предохранителей можно отнести следующие:

– поскольку предохранитель является однофазным аппаратом, то при токовых перегрузках может перегореть плавкая вставка только в одной из фаз

трехфазной сети, в результате чего защищаемая трехфазная электроустановка станет работать в ненормальном режиме на двух фазах;

- необходимость замены сгоревшей плавкой вставки осложняет обслуживание электроустановок;

- конструкция некоторых типов предохранителей позволяет легко применять нестандартные плавкие вставки (так называемые “жучки”). При установке таких кустарных некалиброванных плавких вставок предохранители перестают быть надежными аппаратами защиты, в результате чего весьма возможны местные перегревы, аварии, пожары и взрывы.

При выборе плавки предохранителей учитываются их следующие технические характеристики:

- номинальное напряжение предохранителя (U_{np}) – напряжение, указанное на предохранителе и соответствующее наибольшему номинальному напряжению сетей, в которых разрешается установка данного предохранителя;

- номинальный ток предохранителя (I_{np}) – ток, который указан на предохранителе, равный наибольшему из номинальных токов плавких вставок, предназначенных для данного предохранителя;

- номинальный ток плавкой вставки предохранителя ($I_{нл}$) – ток, указанный на плавкой вставке, который для нее допустим при длительной работе. Номинальный ток предохранителя всегда должен быть больше или равен номинальному току плавкой вставки, т.е. $I_{np} \geq I_{нл}$.

Технические данные некоторых типов трубчатых предохранителей приведены в таблице 19.1 [3].

Таблица 19.1 – Технические данные некоторых типов предохранителей.

Тип предохранителя	Номинальный ток предохранителя I_{np} , А	Номинальные токи плавких вставок $I_{нл}$, А
НПИ 15	15	6,10,15
НПН 60М	60	20,25,35,45,60
ПН2-100	100	30,40,50,60,80,100

Продолжение таблицы 19.1

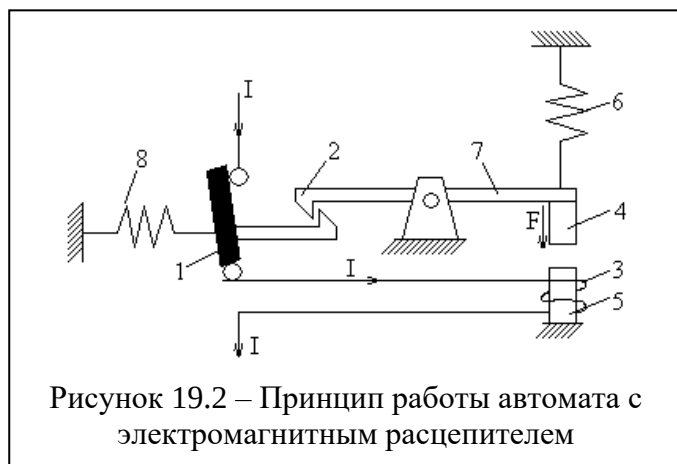
ПН2 – 250	250	80,100,120,150,200,250
ПН2 – 400	400	200,250,300,350,400
ПН2 – 600	600	300,400,500,600
ПН2 – 1000	1000	500,600,750,800,1000

2 Автоматические выключатели (автоматы). Автоматические выключатели предназначены для включения, выключения и защиты электроприемников при токовых перегрузках и коротких замыканиях.

Автоматические выключатели относятся к коммутационным аппаратам ручного управления. Включение и выключение автоматов может производиться вручную, а при ненормальных режимах работы электроустановки (токовые перегрузки, короткие замыкания) отключение происходит автоматически.

Основным узлом, обеспечивающим автоматическое срабатывание автомата при ненормальном режиме, является расцепитель. По принципу действия применяемые в автоматах расцепители бывают электромагнитные, тепловые и комбинированные.

Принцип работы автомата с электромагнитным расцепителем можно упрощенно пояснить схемой, изображенной на рисунке 19.2. Ручным нажатием включающей кнопки или поворотом соответствующей рукоятки подвижный контакт 1 автомата замыкается и удерживается во включенном состоянии защелкой 2, по электрической цепи протекает ток I . Проходя по обмотке 3



электромагнитного расцепителя, ток I создает втягивающее усилие F , стремящееся притянуть якорь 4 к сердечнику 5 электромагнита. Однако, этому притяжению противодействует пружина 6, которая одновременно обеспечивает и надежное сцепление защелки 2.

Как только ток I достигает установленного значения, равного току срабатывания (установки) расцепителя $I_{уст.эм}$, втягивающее усилие F электромагнита преодолевает сопротивление пружины 6, якорь 4 притягивается к сердечнику 5, рычаг 7 поворачивается по часовой стрелке и освобождает защелку 2. Под действием пружины 8 контакт 1 размыкается и цепь тока автоматически прерывается, т.е. происходит выключение автомата.

Особенностью автоматов с электромагнитными расцепителями является их безынерционность, благодаря чему они способны осуществлять мгновенное отключение электроустановок без выдержки времени (токовую отсечку). При использовании автомата в системе защитного зануления (система TN). Эта особенность является существенным достоинством, так как способствует выполнению требований ПУЭ [7] к быстродействию защиты при коротких замыканиях.

В автоматах с тепловым расцепителем основным элементом, осуществляющим выключение автомата при токовых перегрузках, является биметаллическая пластина. Она представляет собой элемент, состоящих из двух жестко соединенных между собой пластин, выполненных из металлов с разными коэффициентами теплового линейного расширения. При токовых перегрузках оба элемента биметаллической пластины нагреваются и удлиняются. Но поскольку коэффициенты теплового линейного расширения у них разные, то один из элементов удлиняется больше другого. В результате этого биметаллическая пластина изгибается и, воздействуя на механизм свободного расцепления, освобождает защелку, что приводит к выключению автомата.

Особенностью автоматов с тепловыми расцепителями является их тепловая инерционность, из-за которой их выключение происходит не мгновенно, а с выдержкой времени. Причем, чем больше токовая перегрузка, тем быстрее возрастает температура биметаллической пластины, тем быстрее она изгибается и производит отключение автомата. Таким образом, тепловые расцепители, так же как и плавкие предохранители, имеют обратно зависимую от тока временную характеристику, что позволяет избежать ложных отключений электроустановок

при кратковременных токовых перегрузках (например, при пусковых токах электродвигателей).

В автоматах с комбинированным расцепителем имеется и электромагнитный элемент, и биметаллическая пластина. Такие автоматы позволяют осуществлять токовую отсечку (мгновенное срабатывание) при коротких замыканиях и отключение электроприемников с обратной зависимостью от тока выдержкой времени при токовых перегрузках, не допуская при этом ложного отключения при кратковременных перегрузках, не опасных для электроприемников (например, при пуске электродвигателей).

Для выбора автоматов используются их следующие технические характеристики:

- номинальное напряжение автомата (U_A) – напряжение, соответствующее наибольшему номинальному напряжению электрических сетей, в которых разрешается применять данный автомат;

- номинальный ток автомата (I_A) – наибольший ток, на который рассчитаны токоведущие части и контакты автомата, равный наибольшему из номинальных токов расцепителя;

- номинальный ток расцепителя автомата (магнитного $I_{эм}$, теплового I_T или комбинированного $I_{комб}$) – наибольший ток, на который рассчитан расцепитель автомата для длительной работы, не вызывающий срабатывания расцепителя;

- ток уставки (срабатывания) расцепителя ($I_{уст.эм}$, $I_{уст.т}$) – наименьший ток, при котором срабатывает расцепитель автомата.

Типы применяемых в настоящее время автоматов весьма разнообразны и их технические характеристики приведены в соответствующих справочниках и каталогах. Технические данные некоторых автоматов приведены в таблице 19.2 [11].

Таблица 19.2 – Технические данные автоматов серии АЗ100

Тип автомата	Номинальный ток автомата, I_A , А	Комбинированный расцепитель	
		Номинальный ток, $I_{комб}$, А	Ток установки мгновенного срабатывания, $I_{уст.эм}$, А
АЗ110	15	15	150
	20	20	200
	25	25	250
	30	30	300
	40	40	400
	50	50	500
	60	60	600
	80	80	800
	100	100	1000
АЗ130	120	120	840
	140	140	1000
	170	170	1200
	200	200	1400

Расчет требуемых параметров и выбор аппаратов защиты

1 Выбор плавких вставок предохранителей

Выбор плавких вставок предохранителей осуществляется из противоречивых условий. С одной стороны, плавкая вставка должна в возможно короткое время отключить электроприемник при коротком замыкании, и чем меньше ее номинал, тем быстрее и надежнее произойдет ее отключение. С другой стороны, плавкая вставка должна обеспечить номинальный режим работы электроприемника и не допускать отключения при кратковременных перегрузках (например, при запуске электрических двигателей с короткозамкнутым ротором). В этих случаях, чем выше номинал плавкой вставки, тем надежнее будет работа приемника электрической энергии. Однако, учитывая, что пусковой режим длится кратковременно, а плавкая вставка обладает тепловой инерционностью, с целью повышения чувствительности защиты допускается ее перегрузка, при которой она за время пуска не успевает перегореть.

Учитывая вышесказанное для защиты электрических двигателей с коротко замкнутым ротором и другой неспокойной нагрузки, плавкая вставка выбирается из условия

$$I_{пл} \geq \frac{I_{пуск}}{\alpha}, \quad (19.1)$$

где $I_{пл}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А;

$I_{пуск}$ – пусковой ток потребителя, А;

α – коэффициент запаса плавкой вставки, учитывающий ее инерционность.

Для защиты трансформаторов, электрических двигателей с фазным ротором, осветительных сетей и другой спокойной нагрузки, плавкая вставка выбирается по номинальному току электроприемника

$$I_{пл} \geq I_n, \quad (19.2)$$

где I_n – номинальный ток приемника электрической энергии, А.

2 Выбор автоматических выключателей (автоматов)

Выбор автомата для включения, выключения и защиты электроустановки производится таким образом, чтобы его номинальный ток I_A был равен или несколько больше номинального тока, длительно протекающего через его контакты и токоведущие части

$$I_A \geq I_n, \quad (19.3)$$

где I_A – номинальный ток автомата, А;

I_n – номинальный ток приемника электрической энергии, А.

Выбрав из условия 19.3 серийный автомат, необходимо проверить, чтобы, во избежание ложных отключений, номинальные токи его расцепителей были не меньше длительно протекающего через них номинального тока электроприемника

$$I_{H.ЭМ} \geq I_n, I_{H.T} \geq I_n \text{ и } I_{H.КОМБ} \geq I_n \quad (19.4)$$

Кроме того, во избежание ложных отключений при кратковременных токовых перегрузках (например, при пуске электродвигателя), необходимо убедиться, что ток уставки электромагнитного расцепителя автомата (токовой отсечки) $I_{уст.эм}$ больше пускового тока $I_{пуск}$ электродвигателя

$$I_{уст.эм} \geq I_{пуск} \quad (19.5)$$

Исходные данные к выбору аппаратов защиты электроприемников

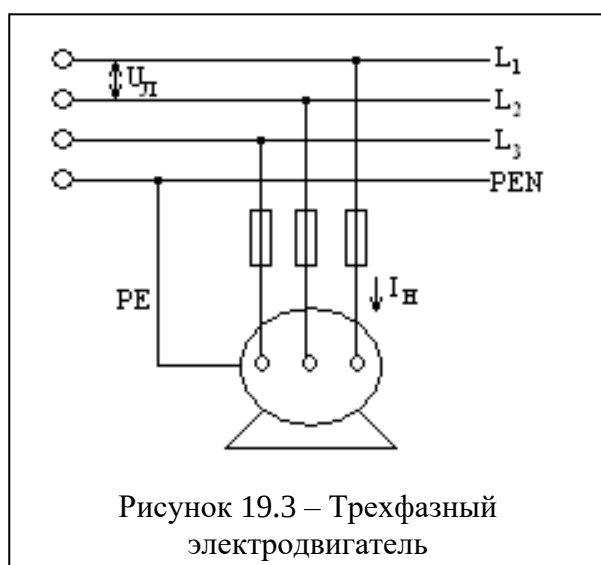
1 Вид приемника электрической энергии: электрический двигатель (с короткозамкнутым или фазным ротором), трансформатор (трехфазный, двухфазный, однофазный), электрическая цепь (трехфазная, двухфазная, однофазная) и т.д.

2 Номинальные параметры приемников электрической энергии: напряжение, мощность, коэффициент мощности. Для электрических двигателей с короткозамкнутым ротором кроме указанных параметров – коэффициент полезного действия электрического двигателя, обратно пускового тока.

3 Вид аппарата защит для защиты приемника электрической энергии: плавкий предохранитель, тип автоматического выключателя.

Последовательность расчета номинальных токов плавких вставок и выбора плавких предохранителей

1 Определяется номинальный ток приемника и электрической энергии, то есть ток, который он потребляет из сети в длительном установившемся режиме,



работая с номинальной нагрузкой.

Номинальный ток трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым или фазным ротором (рисунок 19.3) определяется по формуле

$$I_n = \frac{1000 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \quad (19.6)$$

где P – номинальная мощность на валу электродвигателя, кВт;

$U_{\text{л}}$ – номинальное линейное напряжение (напряжение между фазами) сети, В;

$\cos \varphi$ – номинальный коэффициент мощности, показывающий какая часть полной мощности, потребляемой электродвигателем из сети, идет на выполнение полезной работы;

η – номинальный коэффициент полезного действия электродвигателя.

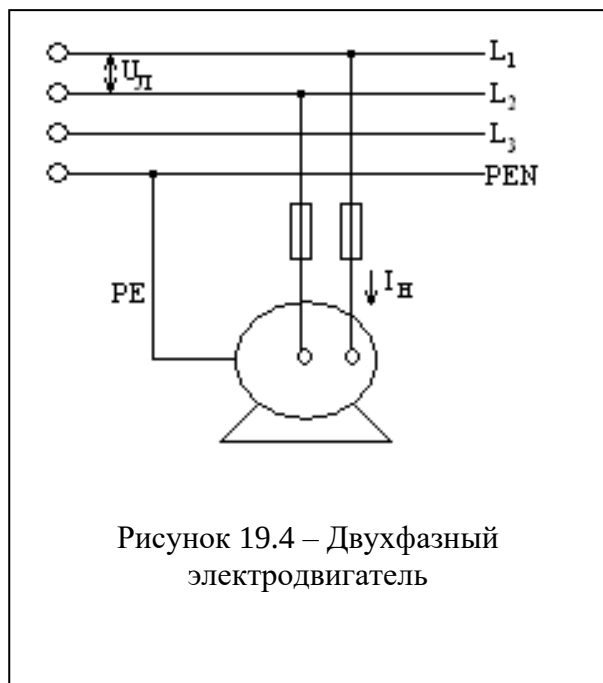
Номинальные коэффициенты мощности и коэффициенты полезного действия электродвигателей приводятся в их технических характеристиках и обычно лежат в пределах: $\cos \varphi = 0,7 - 0,9$, $\eta = 0,7 - 0,95$.

Номинальный ток трехфазного трансформатора определяется по формуле

$$I_{\text{н}} = \frac{1000 \cdot S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}}, \quad (19.7)$$

где S – полная номинальная мощность трансформатора (активная и реактивная), потребляемая из сети, кВ·А;

$U_{\text{л}}$ – номинальное линейное напряжение сети, В.



Номинальный ток двухфазного электроприемника (рисунок 19.4), включенного между двумя фазами, определяется по формулам

$$I_{\text{н}} = \frac{1000 \cdot S}{U_{\text{л}}}, \quad (19.8)$$

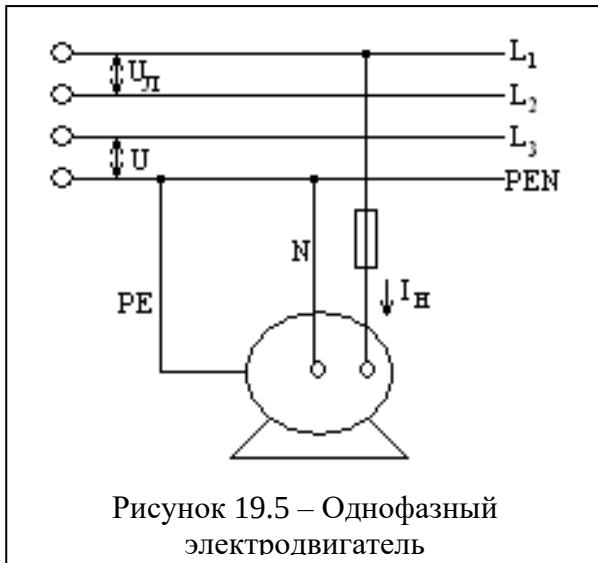
или
$$I_{\text{н}} = \frac{1000 \cdot P}{U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi}, \quad (19.9)$$

где S – полная номинальная мощность, потребляемая электроприемником из сети, кВ·А;

P – активная номинальная мощность,

потребляемая электроприемником из сети, кВт;

U_L – номинальное линейное напряжение сети, В;



$\cos \varphi$ – номинальный коэффициент мощности потребителя.

Номинальный ток однофазного электроприемника, включенного между фазным и нулевым рабочим проводником (рисунок 19.5), определяется по формулам

$$I_n = \frac{1000 \cdot S}{U}, \quad (19.10)$$

или
$$I_n = \frac{1000 \cdot P}{U \cdot \cos \varphi}, \quad (19.11)$$

где S – полная номинальная мощность, потребляемая электроприемником из сети, кВ·А;

P – активная номинальная мощность, потребляемая электроприемником из сети, кВт;

U – номинальное фазное напряжение сети, В;

$\cos \varphi$ – номинальный коэффициент мощности электроприемника.

2 Для асинхронных электрических двигателей с короткозамкнутым ротором определяется пусковой ток по формуле

$$I_{\text{пуск}} = K_n \cdot I_n, \quad (19.12)$$

где $I_{\text{пуск}}$ – пусковой ток электродвигателя, А;

I_n – номинальный ток электродвигателя, А;

K_n – коэффициент кратности пускового тока, показывающий во сколько раз пусковой ток электродвигателя превышает номинальный ток.

Значения коэффициента K_n приводятся в технических характеристиках электродвигателей и обычно лежат в следующих пределах:

$K_n = 4 - 7$ – для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором;

$K_n = 1,5 - 2,5$ – для асинхронных электродвигателей с фазным ротором.

3 Для электродвигателей с короткозамкнутым ротором определяется требуемое значение номинального тока плавкой вставки по формуле

$$I_{пл}^{mp} = \frac{I_{пуск}}{\alpha}, \quad (19.13)$$

где α – коэффициент запаса плавкой вставки, учитывающий кратковременную токовую перегрузку.

Согласно опытным данным значения коэффициента α принимаются равными:

$\alpha = 2,5$ – для электродвигателей, пускаемых в холостую (легкие условия пуска);

$\alpha = 1,6–2,0$ – для электродвигателей, пускаемых под нагрузкой (тяжелые условия пуска).

4 По требуемому значению номинального тока плавкой вставки $I_{пл}^{np}$ для электрических двигателей с короткозамкнутым ротором и номинальным током других потребителей выбираются предохранители с ближайшими большими стандартными значениями номинальных токов плавких вставок $I_{пл}$ (таблица 19.1).

5 Определяется требуемое значение номинального тока плавкой вставки $I_{пл}^{np}$ для защиты группы электроприемников.

Требуемое значение номинального тока плавкой вставки для защиты группы электроприемников выбирается наибольшее значение из трех условий.

5.1 Плавкая вставка для защиты группы электроприемников должна обеспечить номинальный режим работы всех электроприемников

$$I_{пл}^{mp} \geq \sum_{i=1}^n I_{ni}, \quad (8.14)$$

где $\sum_{i=1}^n I_{ni}$ – сумма номинальных токов всех электроприемников, А.

5.2 Плавкая вставка для защиты группы электроприемников должна обеспечить запуск электроприемника с максимальным пусковым током при условии, что все остальные работают в номинальном режиме

$$I_{nl}^{mp} \geq \frac{I_{пуск} + \sum_{i=1}^{n-1} I_{ni}}{\alpha}, \quad (19.15)$$

где $I_{пуск}$ – наибольший пусковой ток электроприемника в группе, А;

$\sum_{i=1}^{n-1} I_{ni}$ – сумма номинальных токов всех электроприемников без учета запускаемого, А;

α – коэффициент запаса плавкой вставки для запускаемого электроприемника.

5.3 Условие селективности: плавкая вставка для защиты группы электроприемников по номиналу должна быть как минимум на ступень выше любого значения номинального тока плавкой вставки в группе

$$I_{nl}^{mp} \geq I_{nli} \quad (19.16)$$

где I_{nli} – наибольшее значение номинального тока плавкой вставки в группе, А.

Последовательность расчета и выбора автоматических выключателей

1 Определяется номинальный ток электроприемника по формулам (19.6...19.11).

2 Для электрического двигателя с короткозамкнутым ротором определяется пусковой ток по формуле (19.12).

3 По номинальному току электроприемника выбирается автоматический выключатель (таблица 19.2) с соблюдением условий 19.3, 19.4 и 19.5.

Пример расчета номинальных токов плавких вставок и выбора предохранителей

Произвести расчет и выбрать плавкие предохранители для защиты электроприемников, изображенных на однолинейной электрической схеме сети рисунок 19.6.

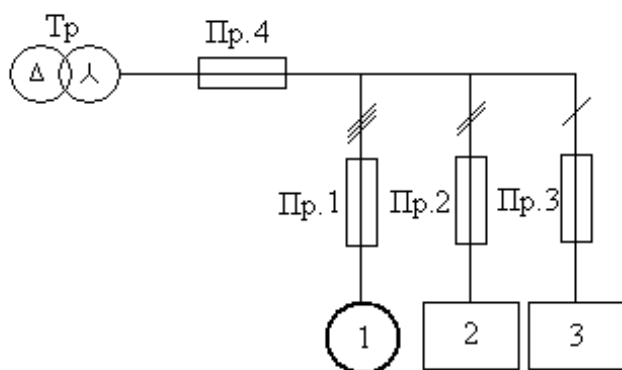


Рисунок 19.6– Однолинейная электрическая схема сети

Исходные данные:

– напряжение сети 380/220 В (линейное напряжение $U_{\text{л}} = 380$ В, фазное напряжение $U = 220$ В);

– электроприемник 1: трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором и техническими характеристиками: $P = 20$ кВт; $K_{\text{н1}} = 6,0$; $\cos \varphi_1 = 0,9$; $\eta_1 = 0,885$; условия пуска – легкие;

– электроприемник 2: двухфазная нагревательная печь мощности $P_2 = 7$ кВт; $\cos \varphi_2 = 1$;

– электроприемник 3: однофазная осветительная установка общей мощностью $P_3 = 1$ кВт; $\cos \varphi_3 = 1$.

1 Определяем номинальный ток электродвигателя по формуле (19.9):

$$I_{\text{н1}} = \frac{1000 \cdot 20}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,885} = 38,2 \text{ А}.$$

2 Определяем номинальный ток нагревательной печи по формуле (19.10):

$$I_{\text{н2}} = \frac{1000 \cdot 7}{380 \cdot 1} = 18,4 \text{ А}.$$

3 Определяем номинальный ток осветительной установки по формуле (19.11):

$$I_{\text{н3}} = \frac{1000 \cdot 1}{220 \cdot 1} = 4,5 \text{ А}.$$

4 Определяем пусковой ток электродвигателя по формуле (19.12):

$$I_{\text{пуск}} = 6 \cdot 38,2 = 229,2 \text{ A}.$$

5 Определяем требуемое значение номинального тока плавкой вставки для защиты электродвигателя по формуле (19.13):

$$I_{\text{нл}}^{\text{mp}} \geq \frac{229,2}{2,5} = 91,7 \text{ A}.$$

6 По требуемому значению номинального тока плавкой вставки для защиты электродвигателя с короткозамкнутым ротором и номинальным током остальных электроприемников по таблице 19.1 выбираем предохранители с ближайшими большими значениями номинальных токов плавких вставок:

Пр.1 – тип ПН2 – 100 с номинальным током плавкой вставки $I_{\text{нл}1} = 100 \text{ A}$;

Пр.2 – тип НПН 60М с номинальным током плавкой вставки $I_{\text{нл}2} = 20 \text{ A}$;

Пр.3 – тип НПИ 15 с номинальным током плавкой вставки $I_{\text{нл}3} = 6 \text{ A}$.

7 Определяем требуемое значение номинального тока плавкой вставки для защиты группы электроприемников по формуле (19.14):

$$I_{\text{нл}}^{\text{mp}} \geq I_{\text{н}1} + I_{\text{н}2} + I_{\text{н}3} = 38,2 + 18,4 + 4,5 = 61,1 \text{ A};$$

по формуле (19.15):

$$I_{\text{нл}}^{\text{mp}} \geq \frac{I_{\text{пуск}1} + I_{\text{н}2} + I_{\text{н}3}}{\alpha} = \frac{229,2 + 18,4 + 4,5}{2,5} = 100,8 \text{ A};$$

по формуле (19.16):

$$I_{\text{нл}}^{\text{mp}} \geq I_{\text{нл}1};$$

$$I_{\text{нл}}^{\text{mp}} > 100 \text{ A}.$$

8 По максимальному значению требуемого номинального тока плавкой вставки для защиты группы электроприемников выбираем предохранитель

Пр.4 – тип ПН2 – 250 с номинальным током плавкой вставки $I_{\text{нл}4} = 10 \text{ A}$.

Результаты расчета представлены в таблице 19.3

Таблица 19.3 – Результаты расчета и выбора плавких вставок предохранителей

Наименование электроприемника	Номинальный ток электроприемника, I_n , А	Пусковой ток электроприемника, $I_{пуск}$, А	Требуемое значение номинального тока плавкой вставки, $I_{пл}^{пр}$, А	Тип предохранителя	Номинальный ток плавкой вставки, $I_{пл}$, А
Электродвигатель	38,2	229,5	91,7	ПН2-100	100
Нагревательная печь	18,4	-	18,4	НПН 60М	20
Осветительная установка	4,5	-	4,5	НПИ 15	6
Групповой предохранитель				ПН2-250	120

Пример расчета и выбора автоматических выключателей

Произвести расчет и выбрать автоматический выключатель для защиты асинхронного электрического двигателя с короткозамкнутым ротором. Исходные данные: – напряжение сети 380/220 В; –технические характеристики электрического двигателя: $P = 14$ кВт, $K_n = 5$, $\cos \varphi = 0,85$, $\eta = 0,87$, условия пуска тяжелые.

1 Определим номинальный ток электрического двигателя по формуле (8.6)

$$I_n = \frac{1000 \cdot 14}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,85 \cdot 0,87} = 28,8 \text{ А}.$$

2 Определим пусковой ток электродвигателя по формуле (8.12)

$$I_{пуск} = 5 \cdot 28,8 = 144 \text{ А}.$$

3 По таблице 19.2 выбираем автоматический выключатель А 3110 с номинальным током $I_A = 30$ А.

4 Проверяем выполнение условия (19.5)

$$I_{уст.эм} = 300 \text{ А} > I_{пуск} = 144 \text{ А}.$$

Условие (8.5) выполняется.

В заключении этого раздела следует отметить, что автоматы, не смотря на их более высокую стоимость и сложность конструкции, имеют ряд преимуществ перед плавкими предохранителями. Они более удобны в эксплуатации, надежны и безопасны для обслуживающего персонала. Автоматы всегда готовы к быстрому повторному включению, обладают многократностью действия, обеспечивают одновременное отключение всех фаз поврежденной цепи, не допуская неполнофазных отключений, приводящих к ненормальному режиму работы электроустановок на двух фазах. Наличие в автоматах различных типов расцепителей дает более широкие возможности производить быструю селективную защиту электроустановок при коротких замыканиях и токовых перегрузках, не допуская при этом ложных отключений.

Контрольные вопросы

1. Для чего служат аппараты защиты?
2. Какие требования предъявляются к аппаратам защиты?
3. Что понимают под чувствительностью аппарата защиты?
4. На что влияет быстродействие аппарата защиты?
5. В чем проявляется селективность (избирательность) аппаратов защиты?
6. Какие аппараты защиты применяются в электроустановках?
7. Что такое плавкий предохранитель, как он устроен и в чем заключается его принцип действия?
8. Достоинства и недостатки плавких предохранителей?
9. Технические характеристики плавких предохранителей?
10. Назначение автоматов, их устройство и принцип действия?
11. Достоинства и недостатки автоматов?
12. Технические характеристики автоматов?
13. Последовательность расчета и выбора плавких вставок предохранителей?

14. Как рассчитываются номинальные токи электроустановок потребителей?

15. Принцип выбора автоматов?

Практическое занятие № 20

Расчёт заземляющего устройства ПС 10/0,4 кВ

Цель работы: получить представление о заземляющих устройствах; ознакомиться с методами расчета заземляющих устройств в электроустановках.

Теоретическая часть

Методика расчёта

Рассчитать заземляющее устройство (ЗУ) в электроустановках (ЭУ) с изолированной нейтралью (ИН) – это значит:

- определить расчётный ток замыкания на землю (I_z) и сопротивление ЗУ (R_z);
- определить расчётное сопротивление грунта (ρ_p);
- выбрать электроды и рассчитать их сопротивление;
- уточнить число вертикальных электродов и разместить их на плане.

Примечание. При использовании естественных заземлений

$$R_z = \frac{R_e \cdot R_u}{R_e + R_u},$$

где, R_u R_e – сопротивление искусственных и естественных заземлений, Ом.

Сопротивление заземления железобетонных фундаментов здания, связанных между собой металлическими конструкциями, определяется по формуле

$$R_z = \frac{\rho}{\sqrt{S}},$$

где $\rho = 100$ Ом · м (суглинок);

S – площадь, ограниченная периметром здания, м².

Определение I_3 и R_3

В любое время года согласно ПУЭ

$$R_3 \leq \frac{250}{I_3},$$

где R_3 – сопротивление заземляющего устройства, Ом (не более 10 Ом);

I_3 – расчётный ток замыкания на землю, А (не более 500 А).

Расчётный (ёмкостной) ток замыкания на землю определяется приближённо

$$I_3 = \frac{U_n \cdot (35 \cdot L_{кл} + L_{вл})}{350},$$

где U_n – номинальное линейное напряжение сети, кВ;

$L_{кл}$, $L_{вл}$ – длина кабельных и воздушных электрически связанных линий, км.

Примечание. В электроустановках с ИН до 1 кВ

$$R_3 \leq \frac{125}{I_3} \text{ (не более 4 Ом).}$$

При мощности источника до 100 кВ·А – не более 10 Ом.

По этой же формуле рассчитывают R_3 , если ЗУ выполняется общим для сетей до и выше 1 кВ.

При совмещении ЗУ различных напряжений принимается R_3 наименьшее из требуемых значений (таблица 9.1).

Определение ρ_p грунта

$$\rho_p = K_{сез} \cdot \rho,$$

где ρ_p – расчётное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$K_{сез}$ – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание просыхание грунта,

$K_{сез} = F$ (климатическая зона, вид заземлителей), принимается по таблице 20.2.

Выбор и расчёт сопротивление электродов

Выбор электродов – по таблице 20.4.

Приближённо сопротивления одиночного вертикального заземления определяется по формуле

$$r_{\text{в}} = 0,3 \cdot \rho_{\text{п}},$$

Сопротивление горизонтального электрода (полосы) определяется по формуле

$$r_{\text{г}} = \frac{0,4 \cdot \rho}{L_{\text{н}}} \cdot l_{\text{г}} \cdot \frac{2 \cdot L_{\text{н}}^2}{b \cdot t},$$

где $L_{\text{н}}$ – длина полосы, м;

b – ширина полосы, м; для круглого горизонтального заземлителя $b = 1,1d$;

t – глубина заложения, м.

Определения сопротивления с учётом коэффициента использования.

$$R_{\text{в}} = \frac{r_{\text{в}}}{\eta_{\text{в}}}; R_{\text{г}} = \frac{r_{\text{г}}}{\eta_{\text{г}}},$$

где $R_{\text{в}}$ и $R_{\text{г}}$ – сопротивление вертикального и горизонтального электродов с учётом коэффициентов использования, Ом;

$\eta_{\text{в}}$ и $\eta_{\text{г}}$ – коэффициенты использования вертикального и горизонтального электродов, определяются по таблице 20.5: $\eta = F$ (тип ЗУ, вид заземлителя, $\frac{a}{L}$, $N_{\text{в}}$),

где a – расстояние между вертикальными заземлителями, м;

L – длина вертикального заземлителя, м;

$N_{\text{в}}$ – число вертикальных заземлителей.

Необходимо сопротивление вертикальных заземлителей с учётом соединительной полосы

$$R_{\text{в}} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3},$$

Уточнение числа вертикальных электродов

Необходимое число вертикальных заземлителей определяется следующим образом:

$$N_{\epsilon} = \frac{R_{\epsilon}}{R_u + \eta_{\epsilon}}, \text{ (при использовании естественных и искусственных}$$

заземлителей);

$$N_{\epsilon} = \frac{R_{\epsilon}}{R_z + \eta_{\epsilon}}, \text{ (при использовании только искусственных заземлителей);}$$

$$N_{\epsilon} = \frac{r_{\epsilon}}{R_u \cdot \eta_{\epsilon} \cdot \eta_{\epsilon, \text{ум}}},$$

где $\eta_{\epsilon, \text{ум}}$ – уточнённое значение коэффициента использования вертикальных заземлителей.

Таблица 20.1 – Наибольшее допустимое значение R_z для 3 – фазных сетей

Напряжение сети, кВ	Режим нейтрали	$R_{z. \text{нб}}$, Ом	Вид ЗУ
110 и выше	ЗН	0.5	Заземление
3...35	ИН	10	
0,66	ГЗН	2	Зануление
0,38		4	
0,22		8	
0.66; 0,38; 0,22	ИН	4	Заземление

Примечание. При удельном электрическом сопротивлении грунта более 100 Ом·м допускается увеличивать указанные выше значения в $0,01 \cdot \rho$ раз, но не более 10 – кратного.

Таблица 20.2 – Коэффициенты сезонности $K_{сез}$

Климатическая зона	Вид заземлителя		Дополнительные сведения
	Вертикальный	горизонтальный	
1	2	3	4
I	1,9	5,8	Глубина заложения вертикальных заземлителей от поверхности земли 0,5...0,7 м
II	1,7	4,0	Глубина заложения горизонтальных заземлителей 0,3...0,8 м
III	1,5	2,3	
IV	1,3	1,8	

Примечание. Зона I имеет наиболее холодный, IV – тёплый климат; ρ – удельное сопротивление грунта, измерено при нормальной влажности, Ом · м принимается по таблице 20.3.

Таблица 20.3 – Удельное сопротивление грунта ρ

Грунт	Торф	Глина, земля садовая	Чернозём	Суглинок	Каменистая почва	Супесь	Песок с галькой
ρ , Ом · м	20	40	50	100	200	300	800

Таблица 20.4 – Рекомендуемые электроды

Вид электрода	Размеры, мм	L , м	t , м
Стальной уголок	50 × 50 × 5	2,5...3	0,5...0,7
	60 × 60 × 6		
	75 × 75 × 8		
Круглая сталь	12...16	5...6	
Труба стальная	60	2,5	
Полоса стальная	40 × 4	Расчётная	
Пруток стальной	10...12		

Таблица 20.5 – Значение коэффициентов использования электродов

N_6	$\frac{a}{L}$											
	1				2				3			
	η_6		η_z		η_6		η_z		η_6		η_z	
	К	Р	К	Р	К	Р	К	Р	К	Р	К	Р
4	0,69	0,74	0,45	0,77	0,78	0,83	0,55	0,89	0,85	0,88	0,7	0,92
6	0,62	0,63	0,4	0,71	0,73	0,77	0,48	0,83	0,8	0,83	0,64	0,88
10	0,55	0,59	0,34	0,62	0,69	0,75	0,4	0,75	0,76	0,81	0,56	0,82
20	0,47	0,49	0,27	0,42	0,64	0,68	0,32	0,56	0,71	0,77	0,45	0,68
30	0,43	0,43	0,24	0,31	0,6	0,65	0,3	0,46	0,68	0,75	0,41	0,58

где K – контурное ЗУ, P – рядное ЗУ

Задача 1

Дано: $A \times B = 15 \times 12$ м, $U_L = 20$ кВ, $L_{\text{ЛЭП(кЛ)}} = 10$ км, $U_H = 0,4$ кВ, $\rho = 300$

Ом·м – супесь, $t = 0,7$ м, климатический район – IV, вертикальный электрод – уголок (75×75), $L_6 = 3$ м, вид ЗУ – контурное, горизонтальный электрод – полоса (40×4)

Требуется: Определить количество вертикальных и длину горизонтальных заземлителей; Показать размещение ЗУ на плане; Определить фактическое значение сопротивления ЗУ.

Решение:

1. Определяется расчётное сопротивление одного вертикального электрода

$$r_6 = 0,3 \cdot \rho \cdot K_{\text{сез.6}} = 0,3 \cdot 1,3 \cdot 300 = 117 \text{ Ом.}$$

По таблице 9.2 $K_{\text{сез.6}} = F$ (верт., IV) = 1,3.

2. Определяется предельное сопротивление совмещённого ЗУ

$$R_{\text{зyl}} \leq \frac{125}{I_3} 6,25 \text{ Ом (для ЛЭП ВН);}$$

$$I_6 = \frac{U_L \cdot 35 \cdot L_{\text{кЛ}}}{350} = \frac{20 \cdot 35 \cdot 10}{350} = 20 \text{ А;}$$

Требуемое сопротивление по НН $R_{\text{зв}2} \leq 4 \text{ Ом}$ на НН.

Принимается $R_{\text{зв}2} = 4 \text{ Ом}$ (наименьшее из двух).

Но так как $\rho > 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, то для расчёта принимается

$$R_{\text{зв}} \leq 4 \cdot \frac{\rho}{100} = 12 \text{ Ом}.$$

3. Определяется количество вертикальных электродов:
без учёта экранирования (расчётное)

$$N'_{\text{в.р}} = \frac{r_{\text{в}}}{R_{\text{зв}}} = 9,75. \text{ Принимается } N'_{\text{в.р}} = 10;$$

с учётом экранирования

$$N_{\text{в.р}} = \frac{N'_{\text{в.р}}}{\eta_{\text{в}}} = 14,5. \text{ Принимается } N_{\text{в}} = 15.$$

По таблице 20.5 $\eta_{\text{в}} = F$ (тип ЗУ, вид заземления, $\frac{a}{L}$, $N_{\text{в}}$) (контурное, вертикальное, 2, 10) = 0,69.

4. Размещается ЗУ на плане (рисунок 20.1) и уточняются расстояния, наносятся на план.

Так как контурное ЗУ закладывается на расстоянии не менее 1 м, то длина по периметру закладки равна

$$L_n = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \cdot 2 = 62 \text{ м}.$$

Тогда расстояние между электродами уточняется с учётом формы объекта. По углам устанавливают по одному вертикальному электроду, а оставшиеся – между ними.

Для равномерного распределения электродов окончательно принимается $N_{\text{в}} = 16$, тогда

$$a_B = \frac{B'}{n_{\text{в}} - 1} = 3,5 \text{ м}; \quad a_A = \frac{A'}{n_A - 1} = 4,25 \text{ м},$$

где a_B – расстояние между электродами по ширине объекта, м;

a_A – расстояние между электродами по длине объекта, м;

n_B – количество электродов по ширине объекта;

n_A – количество электродов по длине объекта.

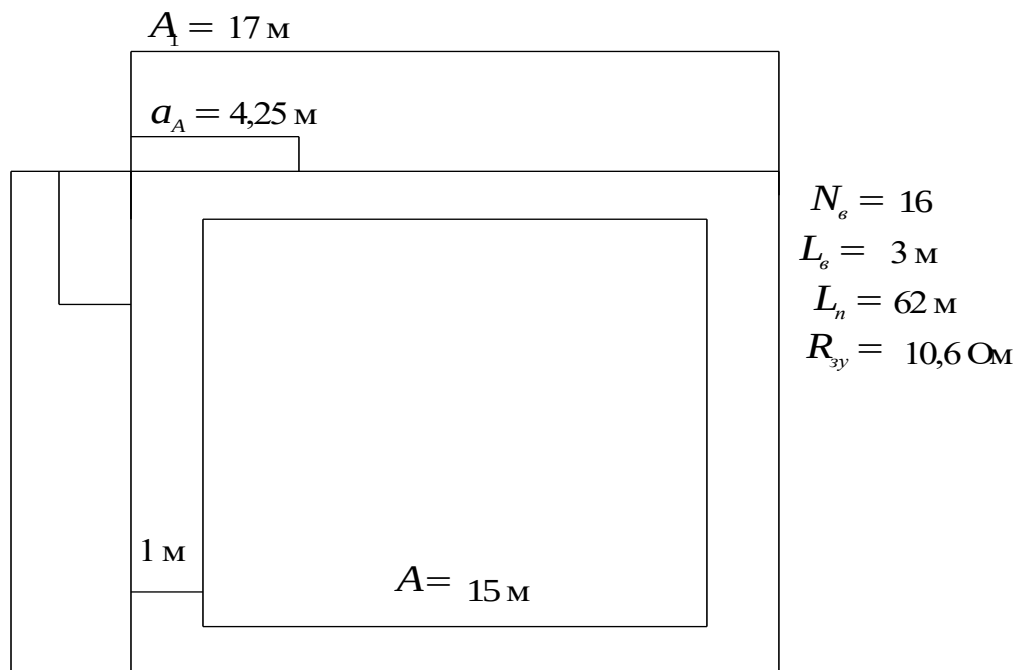


Рисунок 20.1 – План ЗУ подстанции

Для уточнения принимается среднее значение отношения

$$\left(\frac{a}{L_\epsilon} \right)_{cp} = \frac{1}{2} \left(\frac{a_B + a_A}{3} \right) = 1,3.$$

Тогда по таблице 20.5 уточняются коэффициенты использования

$$\eta_\epsilon = F(\text{конт}; 1,3; 16) = 0,56;$$

и

$$\eta_z = F(\text{конт}; 1,3; 16) = 0,32.$$

5. Определяются уточнённые значения сопротивлений вертикальных и горизонтальных электродов

$$R_\epsilon = \frac{0,4}{L_n \cdot \eta_\epsilon} \cdot \rho \cdot K_{сез} \cdot lq \frac{2 \cdot L_n^2}{b \cdot t} = \frac{0,4}{62 \cdot 0,32} \cdot 300 \cdot 1,8 \cdot lq \frac{2 \cdot 62}{0,75 \cdot 0,7} = 54,2 \text{ Ом}.$$

По таблице 20.2 $K_{сез,г} = F(IV) = 1,8.$

$$R_{\epsilon} = \frac{r_{\epsilon}}{N_{\epsilon} \cdot \eta_{\epsilon}} = \frac{54,2}{16 \cdot 0,56} = 13,1 \text{ Ом}$$

6. Определяется фактическое сопротивление ЗУ

$$R_{\text{зy}} = \frac{R_{\epsilon} \cdot R_{\text{з}}}{R_{\epsilon} + R_{\text{з}}} = \frac{13,1 \cdot 54,2}{13,1 + 54,2} = 10,6 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{зy}}(10,6) < R_{\text{зy}}(12)$$

следовательно, ЗУ эффективно.

Вопросы к практическому занятию

1. Назначение защитного заземления.
2. Дать определение защитного заземления.
3. Принцип действия защитного заземления.
4. Типы заземляющих устройств.
5. Как выполняется заземляющее устройство.
6. Расчет защитного заземления.
7. Нормирования сопротивлений заземления.

Практическое занятие № 21

Расчет заземляющего устройства ПС 35/10 кВ

Цель работы и теоретические сведения смотри практическое занятие № 20

Пример 1 Рассчитать заземляющее устройство подстанции 35/10 кВ, находящейся во второй климатической зоне. Сети 35 и 10 кВ работают с незаземленными нейтралями. На стороне 35 кВ $I_3 = 8$ А, на стороне 10 кВ $I_3 = 25$ А. Собственные нужды подстанции получают питание от трансформатора 10/0,4 кВ с заземленной нейтралью на стороне 0,4 кВ. Естественных заземлителей нет. Удельное сопротивление земли при нормальной влажности $\rho = 86$ Ом • м. Оборудование подстанции занимает площадь 18х8 м.

Решение

Сопротивление заземляющего устройства для установок 10 – 110 кВ при использовании его одновременно для установки с. н. напряжением до 1 кВ

$$R_3 \leq \frac{125}{I_3} = \frac{125}{8} = 15,6 \text{ Ом}; R_3 \leq \frac{125}{25} = 5 \text{ Ом}$$

Сопротивление заземляющего устройства нейтрали трансформатора на стороне 0,4 кВ согласно [12] должно быть не более 4 Ом.

Таким образом, последнее требование является определяющим для расчета: $R_3 \leq 4$ Ом.

Заземляющее устройство выполняем в виде контура из полосы 40х4 мм, проложенной на глубине 0,7 м вокруг оборудования подстанции на расстоянии 2 м от внутренней стороны ограды.

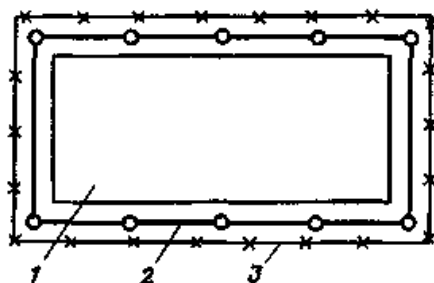


Рисунок 21.1 – План заземляющего устройства

1 — площадь, занятая оборудованием (18 х 8 м²); 2 — заземляющий контур (20 х 10 м); 3 — ограждение подстанции

Таблица 10.1 – Коэффициенты использования вертикальных заземлителей, размещенных по контуру без учета влияния полосы связи

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число вертикальных заземлителей $n_{\text{в}}$	$\eta_{\text{в}}$	Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число вертикальных заземлителей $n_{\text{в}}$	$\eta_{\text{в}}$
1	4	0,66-0,72	2	20	0,61-0,66
	6	0,58-0,65		40	0,55-0,61
	10	0,52-0,58		60	0,52-0,58
	20	0,44-0,5		4	0,84-0,86
	40	0,38-0,44		6	0,78-0,82
	60	0,36-0,42		10	0,74-0,78
2	4	0,76-0,8	3	20	0,68-0,73
	6	0,71-0,75		40	0,64-0,69
	10	0,66-0,71		60	0,62-0,67

Общая длина полосы 60 м (рисунок 10.1). Сопротивление заземляющей полосы

$$r_z = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч}}}{l} \cdot lq \frac{2 \cdot l^2}{d \cdot t} = \frac{0,366 \cdot 3 \cdot 86}{8} \cdot lq \frac{2 \cdot 60^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7} = 8,7 \text{ Ом}$$

где: $\rho_p = K_c \cdot \rho = 3 \cdot 86 = 264 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

K_c определен [7].

Предварительно принимая в контуре 10 вертикальных заземлителей, для $a/l = 1$ находим коэффициент использования полосы $\eta_n = 0,34$, тогда сопротивление полосы в заземлителях

$$R_z = r_z / \eta_n = 8,7 / 0,34 = 25,6 \text{ Ом}$$

Необходимое сопротивление вертикальных заземлителей

$$R_g = \frac{R_z \cdot R_3}{R_z - R_3} = \frac{25,6 \cdot 4}{25,6 - 4} = 4,7 \text{ Ом}$$

где $R_{иск} = R_3$, так как естественные заземлители отсутствуют. Количество вертикальных заземлителей

$$\eta_g = \frac{r_g \cdot R_3}{R_g \cdot \eta} = \frac{24,4}{24,4 \cdot 0,57} = 9,13$$

где сопротивление одного вертикального заземлителя (стержня длиной 5 м, диаметром 12 мм²) при $\rho_p = K_c \cdot \rho = 1,25 \cdot 86 = 108 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

$$r_g = \frac{0,366 \cdot 108}{5} \cdot \left(lq \frac{2 \cdot 5}{12 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \cdot lq \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 24,4 \text{ Ом};$$

Принимаем в контуре 10 вертикальных заземлителей.

Вопросы к практическому занятию

1. В каких электроустановках необходимо выполнять защитное заземление?
2. Чем отличаются естественные заземлители от искусственных?
3. Что применяется в качестве естественных заземлителей?
4. Как уменьшить напряжение прикосновения на территории ОРУ?
5. Перечислите защитные меры в электроустановках.
6. Объясните физическую сущность выравнивания потенциалов, защиту от перехода напряжения с высокой стороны на низкую.

Практическое занятие № 22

Статистический метод расчета заземления

Цель работы: получить представление о заземляющих устройствах; ознакомиться с методами расчета заземляющих устройств в электроустановках напряжением 110/10 кВ статистическим методом.

Теоретическая часть

Согласно ПУЭ, заземляющие устройства электроустановок выше 1 кВ сети с эффективно заземленной нейтралью выполняются с учетом сопротивления $\leq 0,5$ Ом или допустимого напряжения прикосновения.

Расчет по допустимому сопротивлению $\leq 0,5$ Ом приводит к неоправданному перерасходу проводникового материала и трудозатрат при сооружении заземляющих устройств для подстанций контуре из 10 небольшой площадью, не имеющих естественных заземлителей. Ток, протекающий через человека в распределительных устройствах 110 кВ и выше, позволяет перейти к нормированию напряжения прикосновения, а не величины R_3 . Обоснованием этого служат следующие соображения. В момент прикосновения человека к заземленному оборудованию, находящемуся под потенциалом, часть сопротивления заземлителя шунтируется сопротивлением тела человека $R_{\text{ч}}$ и сопротивлением растеканию тока от ступеней в землю $R_{\text{с}}$. На тело человека фактически будет действовать напряжение

$$U_{\text{ч}} = U_{\text{нр}} - U_{\text{см}},$$

где: $U_{\text{см}} = I_{\text{ч}} \cdot U_{\text{с}}$ – падение напряжения в сопротивлении растеканию с двух ступеней человека в землю.

Если принять ступню за диск радиусом 8 см, то

$$R_c = \frac{\rho_{вс}}{2 \cdot 4 \cdot r} = \frac{\rho_{вс}}{8 \cdot 0,08} = 1,5 \rho_{вс}$$

где: $\rho_{вс}$ – удельное сопротивление верхнего слоя земли, Ом·м;

r – радиус ступни, м.

Ток, протекающий через человека.

$$I_q = \frac{U_{np} - U_{сг}}{R_q}$$

Опасность поражения зависит от тока и его длительности протекания через тело человека. Согласно нормам, допустимый ток определяется так:

Длительность воздействия, с ... 0,1 0,2 0,5 0,7 1,0

Допустимый ток, мА 500 250 100 75 65

Зная допустимый ток, можно найти допустимое напряжение прикосновения:

$$U_{np} \leq I_q \cdot R_q + U_c$$

Подставляя, значения U_c и R_c получаем,

$$U_{np} \leq I_q \cdot R_q + 1,5 \cdot I_q \cdot \rho_{вс}$$

Так, например, если $R_q = 1000$ Ом, удельное сопротивление верхнего слоя почвы $\rho_{в,с} = 1000$ Ом·м, время воздействия тока 0,5 с, то, найдя $I_{q,доп} = 100$ мА = 0,1 А, определим $U_{np} \leq 0,1 \cdot 1000 + 1,5 \cdot 0,1 \cdot 1000 = 250$ В

Из величины допустимых напряжений прикосновения видно, что чем больше $\rho_{в,с}$, тем большее напряжение прикосновения можно допустить. Приняв некоторую среднюю величину $\rho_{в,с}$, можно рекомендовать для расчетов приведенные ниже допустимые напряжения прикосновения:

Длительность воздействия, с До 0,1 0,2 0,5 0,7 1,0 1–3

Наибольшее допустимое напряжение

прикосновения, В..... 500 400 200 130 100 65

За расчетную длительность воздействия τ_v принято

$$\tau_v = t_{pz} + t_{отк.в}$$

где t_{pz} — время действия релейной защиты.

Для рабочих мест, где персонал прикасается к заземленным частям при оперативных переключениях, принимается время действия резервной защиты, для остальных мест — время действия основной защиты; $t_{откв}$ — полное время отключения выключателя.

Заземляющее устройство, выполненное по нормам напряжения прикосновения, должно обеспечить в любое время года ограничение U_{np} до нормированного значения в пределах всей территории подстанции, а напряжение на заземляющем устройстве U_z должно быть не выше 10 кВ. Если $U_z > 5 \div 10$ кВ, необходимо принять меры по защите изоляции отходящих кабелей и предотвращению выноса высокого потенциала за пределы электроустановки.

Заземляющее устройство для установок 110 кВ и выше выполняется из вертикальных заземлителей, соединительных полос, полос, проложенных вдоль рядов оборудования, и выравнивающих полос, проложенных в поперечном направлении и создающих заземляющую сетку с переменным шагом. Расстояние между полосами должно быть не более 30 м.

Рекомендуются различные методы расчета сложных заземлителей. Учет многочисленных факторов, влияющих на растекание тока с заземлителей, усложняет расчет. В проектных организациях он производится по специально составленной программе на ЭВМ. Ниже рассмотрен упрощенный метод расчета.

Сложный заземлитель заменяется расчетной квадратной моделью (рисунок 22.1 б) при условии равенства их площадей S , общей длины горизонтальных проводников, глубины их заложения t , числа и длины вертикальных заземлителей и глубины их заложения.

В реальных условиях удельное сопротивление грунта неодинаково по глубине. Как правило, верхние слои имеют большее удельное сопротивление, а нижние, увлажненные слои — меньшее сопротивление. В расчетах многослойный грунт представляется двухслойным: верхний толщиной h_1 с удельным сопротивлением ρ_1 , нижний с удельным сопротивлением ρ_2 . Величины ρ_1 , ρ_2 , h_1 принимаются на основе замеров с учетом сезонного коэффициента k_c .

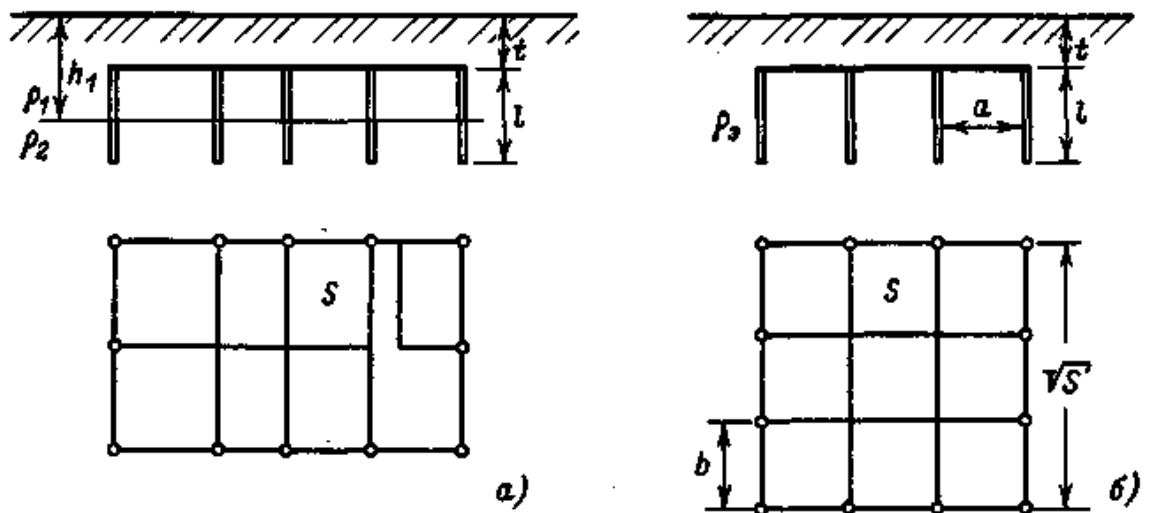


Рисунок 22.1 – К расчету сложных заземлителей:

a — заземляющее устройство подстанции; b - расчетная модель

Расчет производится в следующем порядке:

1. Зная наибольшее допустимое напряжение прикосновения, определяем напряжение на заземлителе:

$$U_3 = \frac{U_{np.доп}}{K_n}$$

где K_n — коэффициент напряжения прикосновения; для сложных заземлителей он определяется по формуле

$$K_n = \frac{M \cdot \beta}{\left(\frac{l_g \cdot L_g}{a \cdot \sqrt{S}} \right)^{0,45}}$$

где l_6 – длина вертикального заземлителя, м;

L_2 – длина горизонтальных заземлителей, м;

a – расстояние между вертикальными заземлителями, м;

S – площадь заземляющего устройства, м^2 ;

M – параметр, зависящий от ρ_1/ρ_2 следующим образом:

ρ_1/ρ_2	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	10
M	0,36	0,5	0,62	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	0,8	0,82

ρ – коэффициент, определяемый по сопротивлению тела человека

R_q и сопротивлению растекания тока от ступней R_c :

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + R_c}$$

В расчетах принимают $R_q = 1000 \text{ Ом}$; $R_c = 1,5 \cdot \rho$.

2. Так как $U_3 = I_3 \cdot R_3$, то сопротивление заземляющего устройства должно быть, Ом,

$$R_{3, \text{дон}} \leq \frac{U_3}{I_3}$$

где I_{np}^1 – ток, стекающий с заземлителя проектируемого заземляющего устройства при однофазном КЗ.

Если однофазное КЗ произошло в пределах электроустановки, то

$$I_3 = I_{n,o}^1 \cdot \left(1 - \frac{x_0}{x_{T1}} \right)$$

где $I_{n,o}^1$ – ток однофазного КЗ в месте повреждения;

x_0 – результирующее индуктивное сопротивление нулевой последовательности до места КЗ;

x_{T1} — сопротивление нулевой последовательности трансформаторов рассматриваемой электроустановки.

Если однофазное КЗ произошло за пределами электроустановки, то

$$I_3 = I_{n,o}^1 \cdot \frac{X_0}{X_{T1}}$$

3. Определяют общее сопротивление естественных заземлителей, Ом

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R_{каб}} + \frac{1}{R_\phi} + \frac{1}{R_{с,т,о}}}$$

где $R_{каб}$ – сопротивление растеканию тока кабелей;

R_ϕ – сопротивление растеканию тока фундаментов;

$R_{с,т,о}$ – сопротивление растеканию тока системы трос – опоры.

Если $R_e < R_{з,доп}$, то сооружается только сетка из горизонтальных полос, если $R_e > R_{з,доп}$, то необходимо сооружение искусственного заземлителя.

4. Определяют общее сопротивление сложного заземлителя, преобразованного в расчетную модель, Ом:

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_2 + L_6}$$

где $A = \left(0,444 - 0,84 \cdot \frac{l_6 + t}{\sqrt{S}} \right)$ при $0 \leq \frac{l_6 + t}{\sqrt{S}} \leq 0,1$

$A = \left(0,385 - 0,25 \cdot \frac{l_6 + t}{\sqrt{S}} \right)$ при $0,1 \leq \frac{l_6 + t}{\sqrt{S}} \leq 0,5$

ρ_3 — эквивалентное удельное сопротивление земли, Ом·м;

L_6 — общая длина вертикальных заземлителей.

Полученное значение R_3 должно быть меньше $R_{з,доп}$ или $R_{иск}$.

Если сопротивление заземлителя превышает требуемые значения, то необходимо увеличение площади S , длины $L_Г$, числа вертикальных заземлителей n_6 и их длины. Все это приводит к дополнительным расходам и на подстанциях трудно осуществимо. Эффективной мерой уменьшения опасности прикосновения является подсыпка гравия или

щебня слоем 0,1 – 0,2 м у рабочих мест. Удельное сопротивление верхнего слоя при этом резко возрастает (5000 – 10000 Ом·м), что снижает ток, проходящий через человека, так как возрастает сопротивление растеканию тока со ступней R_c .

В расчете соответственно уменьшается коэффициент β и увеличивается допустимое сопротивление заземляющего устройства.

Заземляющее устройство может выполняться с соблюдением требований к его сопротивлению. В этом случае в любое время года с учетом естественных заземлителей должно быть $R_3 < 0,5$ Ом.

В таких заземляющих устройствах для выравнивания потенциала прокладываются продольные и поперечные полосы на глубине 0,5-0,7 м и на расстоянии от фундаментов или оснований оборудования 0,8 – 1 м. Расстояние между поперечными полосами рекомендуется принимать увеличивающимся от периферии к центру заземляющей сетки, но не более 20 м.

Пример 1 Рассчитать заземляющее устройство для КТП 110/6 кВ площадью $12 \cdot 20 \text{ м}^2$; $\rho_1 = 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (с учетом промерзания); $h_1 = 2 \text{ м}$; $\rho_2 = 60 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $t = 0,7 \text{ м}$; $l_\theta = 5 \text{ м}$; $t_{pz} = 0,12 \text{ с}$; $t_{отк,в} = 0,08 \text{ с}$; ток, стекающий с заземлителей подстанции при однофазном КЗ на рассматриваемой подстанции, $I_3 = 1,9 \text{ кА}$. Естественных заземлителей нет.

Решение.

Для $\tau_\theta = 0,12 + 0,08 = 0,2 \text{ с}$ находим $U_{np,дон} = 40^\circ \text{ В}$.

Коэффициент прикосновения

$$K_n = \frac{M \cdot \beta}{\left(\frac{l_\theta \cdot L_\theta}{a \cdot \sqrt{S}} \right)^{0,45}} = \frac{0,806 \cdot 0,57}{\left(\frac{5 \cdot 125}{5 \cdot \sqrt{15 \cdot 20}} \right)^{0,45}} = 0,18$$

здесь $M = 0,806$ при $\rho_1 / \rho_2 = 500 / 60 = 8,3$;

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot \rho_{\text{ec}}} = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 500} = 0,57$$

Таблица 22.1 – Относительное эквивалентное удельное сопротивление для сеток с вертикальным заземлителем ρ_3 / ρ_2

ρ_1 / ρ_2	a / l_B	Относительная толщина слоя $(h-t) / l_a$						
		0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	0,95
1	1-4	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1,02	1,03	1,05	1,1	1,13	1,3	1,4
	2	1,03	1,03	1,09	1,13	1,15	1,32	1,5
	4	1,05	1,13	1,15	1,17	1,2	1,38	1,6
5	1	1,05	1,1	1,15	1,22	1,35	1,86	2,4
	2	1,22	1,26	1,35	1,43	1,54	2,12	2,7
	4	1,33	1,41	1,5	1,65	1,83	2,6	3,5
10	1	1,1	1,2	1,28	1,38	1,62	2,5	3,7
	2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,75	5,5
	4	1,52	1,7	1,88	2,08	2,33	3,52	6
0,125	0,5-4	0,95	0,9	0,8	0,7	0,62	0,54	0,52
0,25	0,5-4	0,97	0,93	0,85	0,78	0,71	0,65	0,64
0,5	0,5-4	0,99	0,96	0,92	0,88	0,83	0,79	0,77

$L_r = 125$ м по плану.

Потенциал на заземлителе

$$U_z = \frac{U_{\text{нр.дон}}}{K_n} = \frac{400}{0,18} = 2222 \text{ В}$$

что в пределах допустимого (меньше 10 кВ).

Сопротивление заземляющего устройства

$$R_{z,\text{дон}} = \frac{U_z}{I_z} = \frac{2222}{1900} = 1,23 \text{ Ом}$$

Действительный план заземляющего устройства, преобразуем в расчетную квадратную модель со стороной

$$\sqrt{S} = \sqrt{15 \cdot 20} = 17,3$$

Число ячеек по стороне квадрата

$$m = \frac{L_z}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1 = \frac{125}{2 \cdot 15,5} = 3,03$$

принимаем $m = 3$.

Длина полос в расчетной модели

$$L_z' = 2 \cdot \sqrt{S \cdot (m+1)} = 2 \cdot 15,5 \cdot 4 = 124 \text{ м}$$

Длина сторон ячейки

$$b = \frac{15,5}{3} = 5,17 \text{ м}$$

Число вертикальных заземлителей по периметру контура при $a/l_g = 1$

$$n_g = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{l_g} = \frac{15,5 \cdot 4}{5} = 12,4$$

принимаем $n_g = 12$.

Общая длина вертикальных заземлителей

$$L_g = l_g \cdot n_g = 5 \cdot 12 = 60 \text{ М}$$

Относительная глубина тогда $\frac{l_g + t}{\sqrt{S}} = \frac{5 + 0,7}{15,5} = 0,368 > 0,1$

$$A = \left(0,385 - 0,25 \cdot \frac{l_g + t}{\sqrt{S}} \right) = 0,385 - 0,25 \cdot \frac{5 + 0,7}{15,5} = 0,293$$

Для $\rho_1 / \rho_2 = 8,3$; $a/l_B = 1$;

$$\frac{h_1 - t}{l_g} = \frac{2 - 0,7}{5} = 0,26$$

Определяем $\rho_3 / \rho_2 = 1,4$, тогда $\rho_3 = 1,4 \cdot \rho_2 = 1,4 \cdot 60 = 84 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Общее сопротивление сложного заземлителя

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho_3}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_3}{L_z' + L_g} = 0,293 \cdot \frac{84}{15,5} + \frac{84}{124 + 60} = 2,044 \text{ Ом}$$

что больше допустимого $R_{3,доп} = 1,23 \text{ Ом}$.

Найдем напряжение прикосновения:

$$U_{np} = K_n \cdot I_3 \cdot R_3 = 0,18 \cdot 1900 \cdot 2,044 = 699 \text{ В},$$

что больше допустимого значения 400 В.

Необходимо принять меры для снижения U_{np} путем расширения заземляющего устройства за пределы подстанции или путем использования естественных заземлителей.

Допустим, что на подстанции могут быть использованы естественные заземлители системы троллей — опоры линии 110 кВ общим сопротивлением 2 Ом, тогда общее сопротивление заземляющего устройства подстанции

$$R'_3 = \frac{R_3 \cdot R_e}{R_3 + R_e} = \frac{2,044 \cdot 2}{2,044 + 2} = 1,01 \text{ Ом}$$

что меньше $R_{3,доп} = 1,23 \text{ Ом}$.

Напряжение прикосновения

$$U_{np} = K_n \cdot I_3 \cdot R'_3 = 0,18 \cdot 1900 \cdot 1,01 = 345 \text{ В},$$

что меньше допустимого значения 400 В.

Возможен другой путь уменьшения U_{np} . Применим подсыпку слоем гравия толщиной 0,2 м в рабочих мест. Удельное сопротивление верхнего слоя (гравия) в этом случае будет $\rho_{B,C} = 3000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, тогда

$$\beta' = \frac{1000}{1000 + 1,5 \cdot 3000} = 0,18$$

$$K_n = \frac{M \cdot \beta}{\left(\frac{l_6 \cdot L_z}{a \cdot \sqrt{S}} \right)^{0,45}} = \frac{0,806 \cdot 0,18}{\left(\frac{5 \cdot 125}{5 \cdot \sqrt{15 \cdot 20}} \right)^{0,45}} = 0,057$$

Подсыпка гравием не влияет на растекание тока с заземляющего устройства, так как глубина заложения заземлителей 0,7 м больше толщины слоя гравия, поэтому соотношение ρ_1/ρ_2 и значение M остаются неизменными.

$$U_3 = \frac{400}{0,057} = 7017 \text{ В}$$

что меньше допустимого (10 кВ).

$$R'_{3,доп} = \frac{7017}{1900} = 3,69 \text{ Ом};$$

таким образом, $R_3 = 2,044 \text{ Ом} < R'_{3,доп} = 3,69 \text{ Ом}$.

Напряжение прикосновения

$$U_{np} = K_n^1 \cdot I_3 \cdot R_3 = 0,057 \cdot 1900 \cdot 2,044 = 221 \text{ В}$$

что меньше допустимого 400 В.

Из расчета видно, как эффективна подсыпка гравием на территории подстанции.

Определим наибольший допустимый ток, стекающий с заземлителей подстанции при однофазном КЗ:

$$I_{з\max} = \frac{U_{np.\text{доп}}}{K_n \cdot R_3} = \frac{400}{0,057 \cdot 2,044} = 3433 \text{ А}$$

При больших токах необходимо снижение R_3 за счет учащения сетки полос или дополнительных вертикальных заземлителей.

Вопросы к практическому занятию

1. В каких электроустановках необходимо выполнять защитное заземление?
2. Чем отличаются естественные заземлители от искусственных?
3. Что применяется в качестве естественных заземлителей?
4. Как уменьшить напряжение прикосновения на территории ОРУ?
5. Перечислите защитные меры в электроустановках.
6. Объясните физическую сущность выравнивания потенциалов, защиту от перехода напряжения с высокой стороны на низкую.

Таблица 22.2 – Варианты заданий

№ вар	t м	ρ_1 Ом	ρ_2 Ом	l м	$r_{он}$ Ом	$I_{к1}$ А	$I_{к2}$ А	$I_{к3}$ А
1	0,8	230	80	250	10	5	40	30
2	0,7	220	75	245	11	4,5	35	25
3	0,6	210	70	240	12	4	30	20
4	0,8	230	70	235	13	5	35	25
5	0,7	210	75	230	14	4,5	40	30
6	0,6	230	80	225	15	4	35	25

7	0,8	220	75	220	10	4,5	30	20
8	0,7	210	80	215	11	5	35	25
9	0,6	230	70	210	12	5,5	40	30
10	0,6	220	75	230	15	4	35	25

Литература

1. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов. / Под ред. проф. Э.А. Арустамова – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2013 – 448 с.
2. Безопасность жизнедеятельности. Под ред. Мастрюков Б. М., изд-во Академия, 2012, 304 с.
3. Сапронов Ю.Г., Сыса А.Б. Шахбазян В.В. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Академия, 2012, 320 с.
4. Бондин В.И., Семехин Ю.Г. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Инфра-М, АкадемЦентр, 2011, 352 с.
5. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / Мар.гос.ун-т; И.Г. Воробьева. – Йошкар-Ола, 2011. – 276 с.
6. Графкина М.В., Нюнин Б. Н., Михайлов В.А. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во: Форум, Инфра-М, 2013, 416 с.
7. Казаков Н.П. Якубовская Н.А. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Академия., 2011, 240 с.
8. Каракеян В.И., Никулина И.М. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Юрайт, 2012, 464 с.
9. Косолапова Н.В., Прокопенко Н.А., Побежимова Е.Л. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Академия, 2012, 288 с.
10. Сапронов Ю.Г., Сыса А.Б. Шахбазян В.В. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Академия, 2012, 320 с.
18. Сапронов Ю.Г. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Академия, 2012, 336 с.
19. Сапронов Ю.Г. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во Академия, 2012, 336 с.
20. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Седьмое издание. - М.: Изд. "НЦ ЭНАС", 2002.

21. Безопасность жизнедеятельности. учебник для студентов высших учебных заведений. / [Л.А. Михайлов, В.М Губанов, В.П. Соломин и др.]; под ред. Л.А. Михайлова. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 272 с.
22. Губанов, В.П. Соломин и др.]; под ред. Л.А. Михайлова. –М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 272 с.
23. Лобачев А.И.Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов. – М.: Юрайт - Издат, 2008. – 360 с.
24. Абрамов В.В. Безопасность жизнедеятельности. Изд-во СПбГУП, 2010, 456 с.
25. Басаков М.И. Охрана труда (безопасность жизнедеятельности в условиях производства): Учебно-практическое пособие. – Москва: ИКЦ «МарТ»; Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2003. – 400 с.
26. Девисилов В.А. Охрана труда. Изд-во: Форум, 2010, 512 с.
27. Карнаух Н.Н. Охрана труда. Изд-во: Юрайт, 2011, 384 с.
28. <http://www.alleng.ru/d/saf/saf13.htm>.–Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие под ред. Э. А. Арустамова, 2006 .
29. Скляр Н.Е., Рузьяев Е.С. Электробезопасность. Учебное пособие для студентов по курсу “электробезопасность”. М.: Академия. 2008г.– 168с.
30. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Справочно-методическое пособие по изучению и применению «Межотраслевых правил по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок» ПОТ РМ-016-2001 (с изменениями и дополнительными материалами). Девятое издание, испр. и дополн. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТ «ЭлектроСервис», 2009 -224 с.
31. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Опасность поражения человека электрическим током и порядок оказания первой помощи при несчастных случаях на производстве: Практическое руководство. – Десятое издание, испр. и дополн. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭлектроСервис», 2010 -84 с.
32. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Виды защит, обеспечивающие

безопасность эксплуатации электроустановок (в трех частях). Часть 1. Общие требования. Основная защита. Справочное пособие. – Шестое издание, испр. и дополн. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭлектроСервис», 2010 - 108с.

33. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Виды защит, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок (в трех частях). Часть 2. Защита при косвенном прикосновении. Дополнительная защита. Справочное пособие. – Шестое издание, испр. и дополн. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭлектроСервис», 2010 - 108с.

34. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Виды защит, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок (в трех частях). Часть 3. Защита при нарушении режимов работы ЭУ. Справочное пособие. – Шестое издание, испр. и дополн. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭлектроСервис», 2010 - 108с

35. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Инструктивные материалы по оказанию первой помощи при поражении человека электрическим током и других несчастных случаях на производстве. Практическое руководство. – Шестое издание, испр. и дополн. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭлектроСервис», 2009. - 36с.

36. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: Справочник. – СПб.: Политехника, 2005. – 400с.

27. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. - М.: "Знак", 2005.

28. Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда / Под ред. Кукина П.П.-М.: Высш. шк., 2006. – 380 с.

Классификация электрических сетей

Системы электрических сетей классифицируются по **ГОСТ 505712-94 (МЭК-364-3-93)**. Для классификации используются две буквы, указывающие характер заземления:

первая буква – указывает характер заземления нейтрали источника;

вторая буква – указывает характер заземления открытых проводящих нетоковедущих частей электроустановок (корпуса).

В обозначении используются начальные буквы французских слов:

T (*terre*) – заземлено;

N (*neutre*) – занулено (присоединено к нейтрали источника питания);

I (*isole*) – изолировано.

Выделяются три системы сетей: *TT*, *IT*, *TN*.

1) *TT* – нейтраль источника и корпуса электроприемников заземлены;

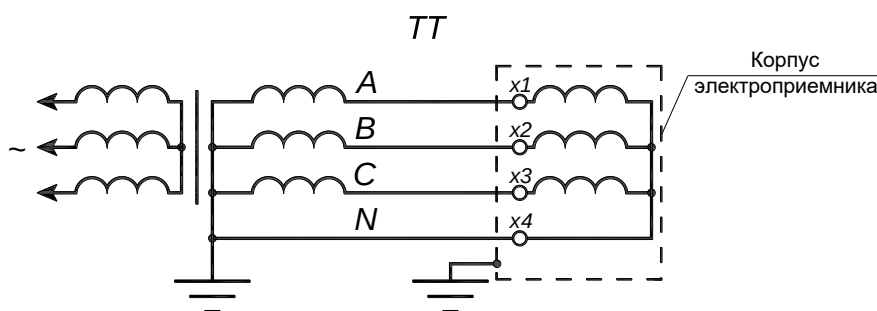


Рисунок А 1

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 110 кВ и выше.

Примечание. В примерах в качестве источников показаны вторичные обмотки трансформаторов. На практике источниками питания могут служить также обмотки генераторов.

2) IT – нейтраль источника изолирована, а корпуса электроприемников заземлены;

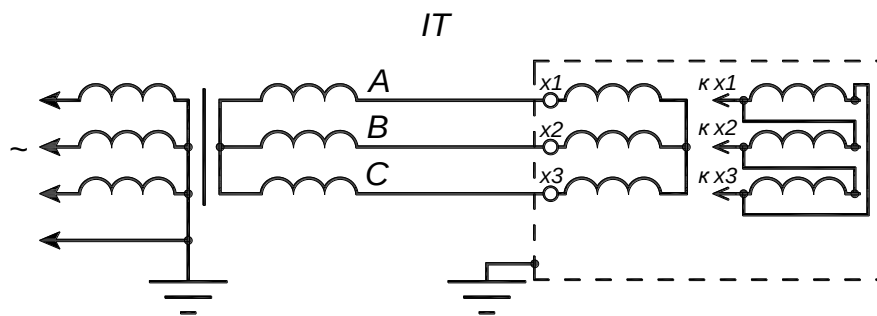


Рисунок А 2

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 6, 10, 35 кВ.

3) TN – нейтраль источника заземлена, а корпуса электроприемников занулены.

Схема TN имеет 3 модификации в зависимости от устройства нулевого рабочего и нулевого защитного проводников.

Схема $TN-C$ (common) – функция нулевого рабочего (N) и нулевого защитного (PE) проводников объединены в одном проводнике, который называется PEN .

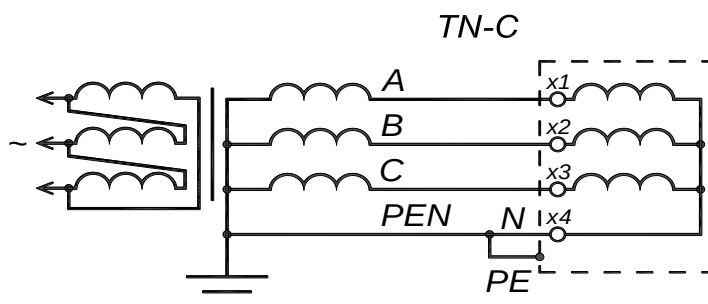


Рисунок А 3

Схема $TN-S$ (select) – функция нулевого рабочего и нулевого защитного проводников обеспечивается отдельными проводниками, соответственно N и PE .

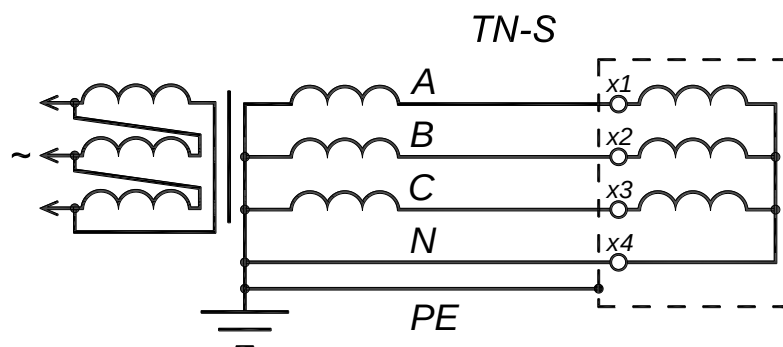


Рисунок А 4

Схема *TN-C-S* – нулевые проводники на головных участках объединены в проводник *PEN*, а далее разделены на проводники *N* и *PE*.

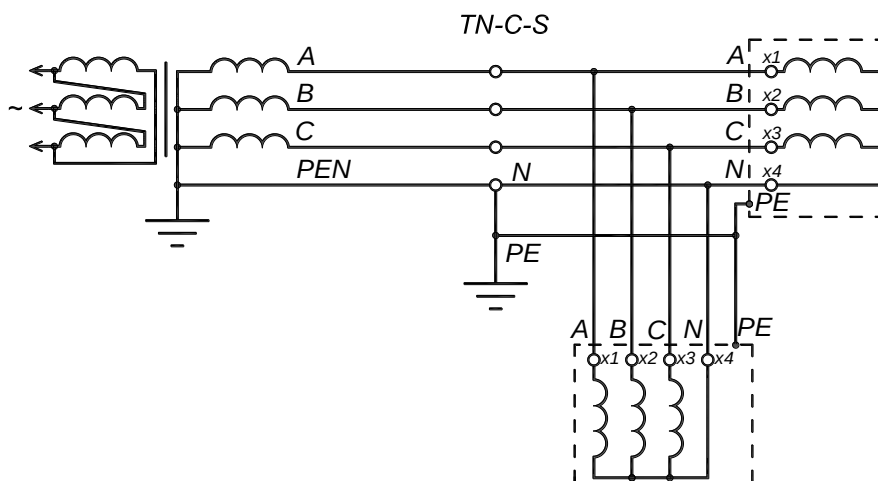


Рисунок А5

На территории России по такой системе выполняются электрические сети напряжением 0,4 кВ.

Применение УЗО в электроустановках различных систем заземления

1 Защита в электроустановках системы *TT*

В системе *TT* все открытые проводящие части электроустановки присоединены к заземлению, электрически независимому от заземлителя нейтрали источника питания.

ГОСТ Р 50669-94 предписывает применение системы *TT* как основной в случае подключения указанных электроустановок к вводно-распределительным устройствам соседнего (капитального) здания.

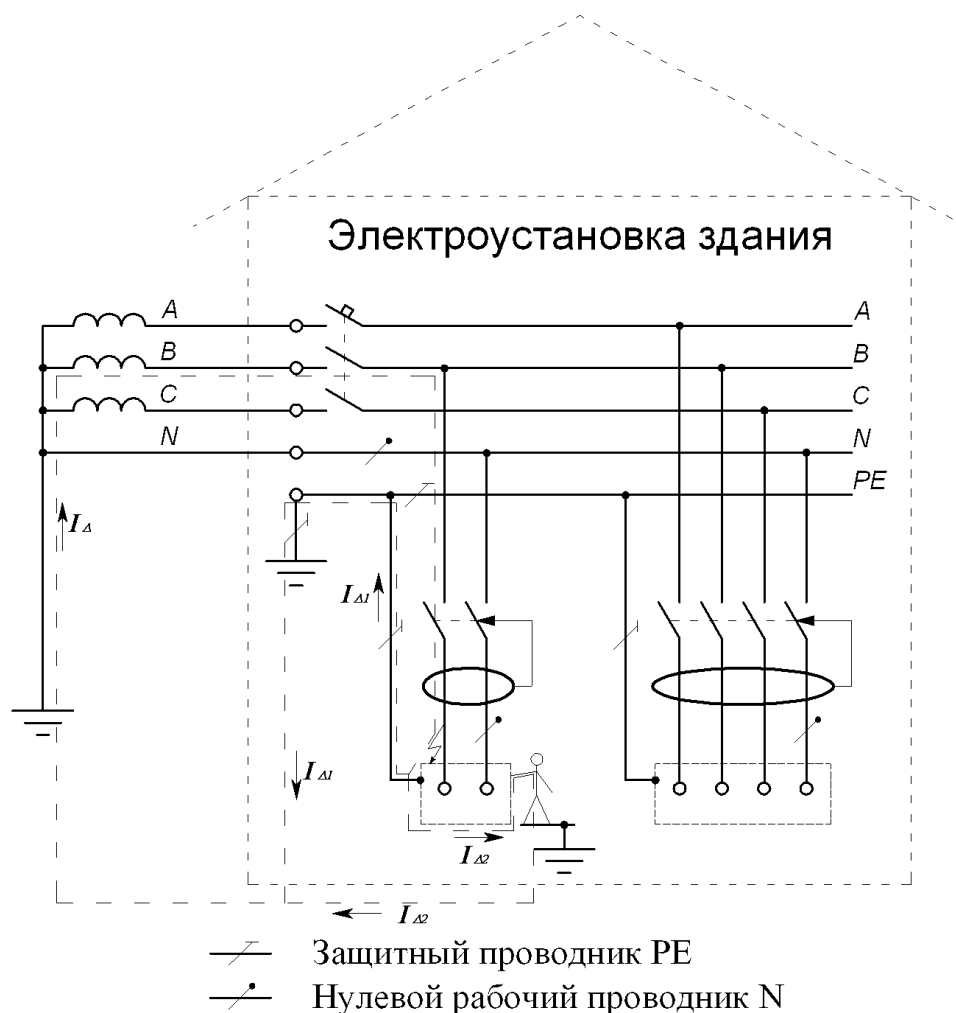


Рисунок Б 1

В стандарте ГОСТ Р 50571.3-94 п. 413.1.4 указано, что в системе *TT* устройства защиты от сверхтока (автоматические выключатели, предохранители) могут использоваться для защиты от косвенного прикосновения только в электроустановках, имеющих заземляющие устройства с очень малым сопротивлением. При этом гарантированное отключение питания электроустановки должно производиться при появлении на открытых проводящих частях электроустановки напряжения не более 50 В.

В реальных условиях осуществить автоматическое отключение питания электроустановки системы *TT* с помощью автоматических выключателей по ряду причин (необходимости обеспечения большой кратности тока короткого замыкания, низкого сопротивления заземляющего устройства и др.) весьма проблематично. Эффективное решение проблемы автоматического отключения питания дает только применение УЗО.

В п. 1.7.59 ПУЭ (7-е изд.) содержится требование обязательного применения УЗО для обеспечения условий электробезопасности в системе *TT*. При этом уставка (номинальный отключающий дифференциальный ток) должна быть меньше значения тока замыкания на заземленные открытые проводящие части при напряжении на них 50 В относительно зоны нулевого потенциала.

Это означает, что в электроустановках индивидуальных жилых домов, коттеджей, дачных (садовых) домов и других частных сооружений, где не всегда имеется возможность выполнить заземлитель с требуемыми нормами параметрами, необходимо применять систему *TT* с обязательной установкой УЗО. В этом случае требования к значению сопротивления заземлителя значительно снижаются.

Таблица Б 1 – Допустимые значения сопротивления заземления

Сопротивление заземления R_z , Ом	5000	1666	500	166	100
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$, мА	10	30	100	300	500

2 Защита в электроустановках системы *TN*

Электроустановки системы *TN-C*

В электроустановках системы *TN* все открытые проводящие части электроустановок должны быть присоединены к заземленной нейтральной точке источника питания посредством защитных проводников. Основное условие электробезопасности системы *TN* состоит в том, чтобы значение тока при коротком замыкании между фазным проводником и открытой проводящей частью превышало величину тока срабатывания защитного устройства за нормированное время.

В случае использования в качестве защитного устройства УЗО значение тока короткого замыкания следует заменить на значение номинального отключающего дифференциального тока устройства $I_{\Delta n}$. При этом задача обеспечения низкого значения сопротивления "фаза-ноль", которую надо решать при использовании защиты от сверхтока, заменяется на проверку работоспособности УЗО и защитного проводника. Контроль сопротивления цепи "фаза-ноль" следует производить только на входных зажимах УЗО.

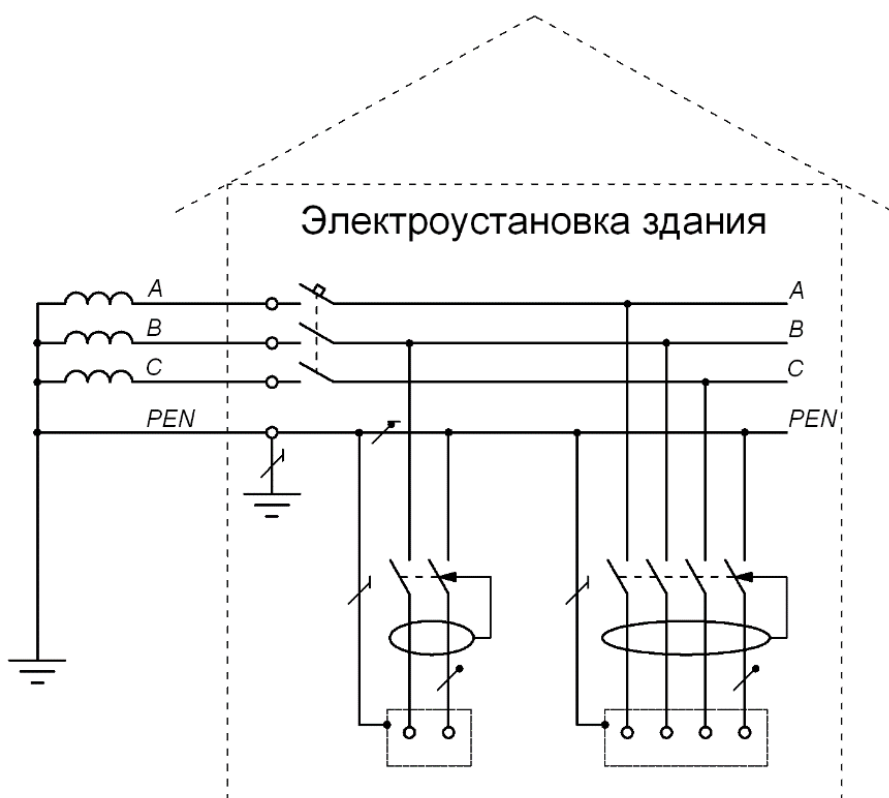


Рисунок Б 2

Самой используемой разновидностью системы *TN* является система *TN-C*. В качестве защитного проводника при этом используется проводник *PEN*, который одновременно выполняет функции рабочего и нулевого защитного проводника.

В ПУЭ 7-го издания имеется указание: "Не допускается применять УЗО, реагирующее на дифференциальный ток, в четырехпроводных трехфазных цепях (система *TN-C*). В случае необходимости применения УЗО для защиты отдельных электроприемников, получающих питание от системы *TN-C*, защитный *PE* проводник электроприемника должен быть подключен к *PEN* проводнику цепи, питающей электроприемник, до защитно-коммутационного аппарата".

Это означает, что как исключение для защиты отдельных электроприемников ПУЭ допускают применение УЗО в системе *TN-C*, при соблюдении определенных условий - подсоединения открытых проводящих частей электроприемников к *PEN*-проводнику со стороны источника питания по отношению к УЗО.

Электроустановки системы *TN-S*

Более современной и в большинстве случаев более безопасной является система *TN-S*, где используется самостоятельный нулевой защитный проводник *PE* и нулевой рабочий проводник *N*, которые прокладываются отдельно, начиная от вывода источника питания. Эта система уже долгое время используются в телекоммуникационных сетях (при этом исключаются помехи в слаботочных сетях, образующиеся при протекании части рабочего тока в земле в сети системы *TN-C*). Применение УЗО обязательно, кроме оговоренных особых случаев (например, цепи питания пожарной сигнализации).

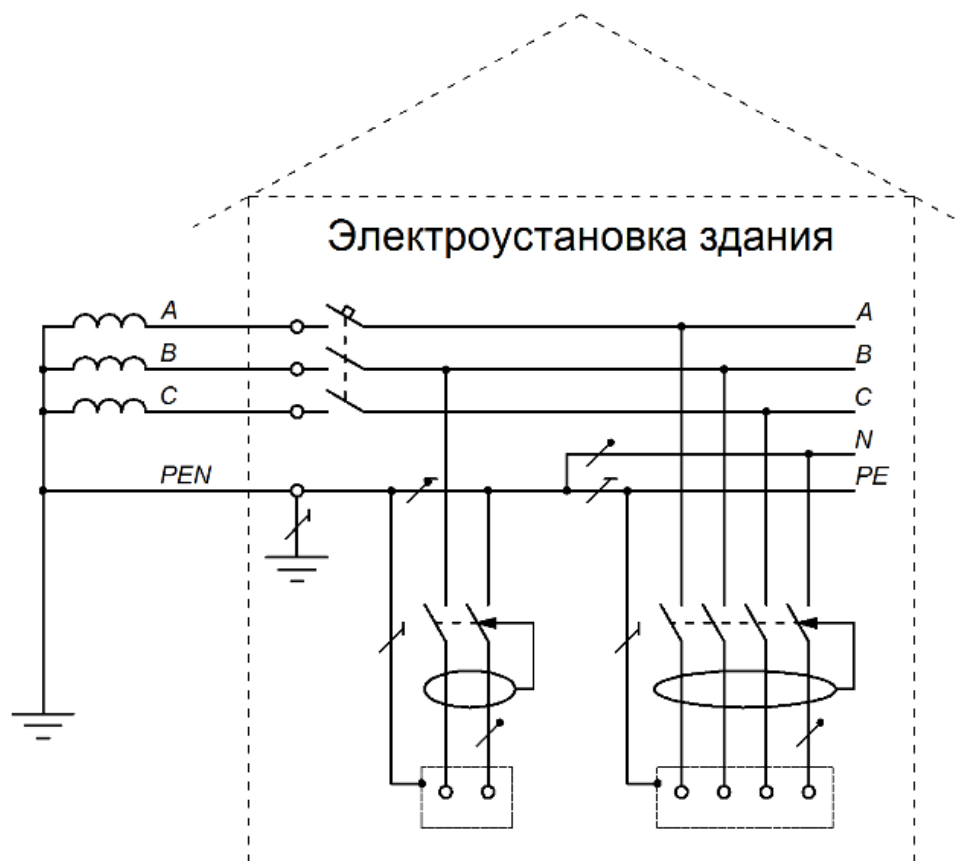


Рисунок Б 4

3 Защита в электроустановках системы IT

В электроустановках системы IT источник питания должен быть изолирован от земли или связан с ней посредством подключения к нейтралю достаточно большого сопротивления. В сети имеется определенное активное сопротивление и емкость по отношению к земле, которые представляют собой путь для тока утечки или тока замыкания на землю.

В системе IT значение тока замыкания на землю определяется состоянием изоляции сети относительно земли. При хорошем состоянии изоляции (высоком сопротивлении относительно земли) ток замыкания на землю очень мал. В случае прямого прикосновения человека к токоведущим частям электроустановки ток через тело человека также определяется сопротивлением изоляции и при сопротивлении изоляции выше определенного значения не представляет опасности для жизни. Таким образом, уровень сопротивления изоляции является в системе IT фактором,

определяющим как надежность, так и электробезопасность ее эксплуатации, поэтому очень важно поддерживать сопротивление изоляции на высоком уровне, а ведение автоматического постоянного контроля изоляции должно быть обязательным электрозащитным мероприятием.

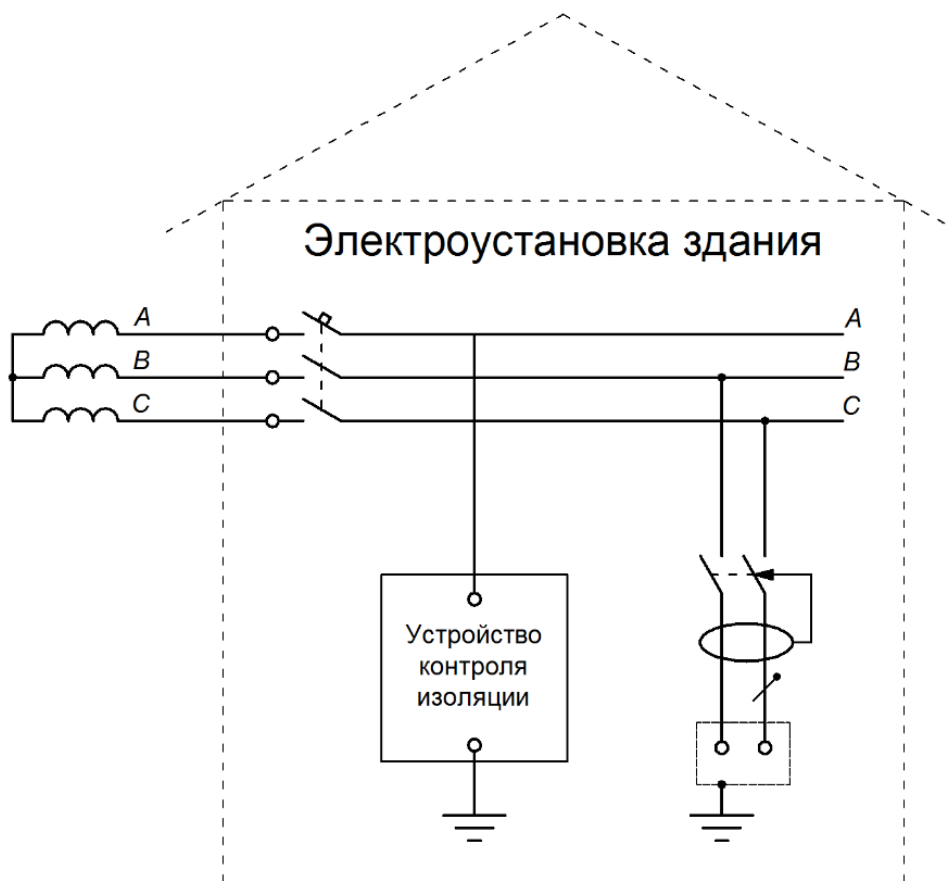


Рисунок Б 5

Применение УЗО в системе *IT* регламентируется ПУЭ 7-го издания следующим образом (п. 1.7.58): "...В таких электроустановках для защиты при косвенном прикосновении при первом замыкании на землю должно быть выполнено защитное заземление в сочетании с контролем изоляции сети или применены УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА".

В электроустановках системы *IT* устройства контроля изоляции подают сигнал при первом замыкании на землю. Если до устранения первого

замыкания происходит второе замыкание на землю, то происходит срабатывание УЗО.

Основное требование при использовании УЗО - устанавливать его необходимо как можно ближе к электроприемнику. Одновременное функционирование устройств контроля изоляции и УЗО не оказывает влияния на работу каждого из этих устройств.

ПРАКТИКУМ

по дисциплине «Охрана труда и электробезопасность» для студентов
Направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Направленности (профили) подготовки:

«Электроснабжение»,
«Электроэнергетические системы и сети»,
«Цифровые технологии в электроэнергетике»
«Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем»,

Составители: Мартусенко В.Е.

Редактор:

Подписано в печать

Формат.	Усл. п. л. – .	Уч.-изд. л. – .
Бумага газетная.	Печать офсетная.	Заказ
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»		Тираж экз.
355001, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1		

Издательство Северо-Кавказского федерального университета
Отпечатано в типографии СКФУ

Министерство науки и высшего образования

Российской Федерации

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению контрольной работы

по дисциплине «Охрана труда и электробезопасность»

для бакалавров направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и

электротехника направленности (профили) подготовки:

«Электроснабжение»,

«Электроэнергетические системы и сети»,

«Цифровые технологии в электроэнергетике»,

«Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем»

Ставрополь

2026

Методические указания, предназначенные для бакалавров направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (профили подготовки: «Электроснабжение», «Электроэнергетические системы и сети», «Цифровые технологии в электроэнергетике», «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», при подготовке и выполнения контрольной работы.

Составлены в соответствии с рабочим учебным планом и программой дисциплины «Охрана труда и электробезопасность».

Составитель:

Мартусенко В.Е., Мустафеев Х.М.

Рецензент:

Содержание

Введение

1. Задания к контрольной работе

1.1 Теоретические вопросы

1.2 задачи:

1.2.1 Оценка опасности прикосновения к однофазной двухпроводной, изолированной от земли сети

1.2.2 Оценка опасности прикосновения к оборванному и лежащему на земле проводу

1.2.3 Оценка опасности прикосновения к незаземлённому проводу, подверженному электромагнитному влиянию

1.2.4 Оценка опасности прикосновения к заземлённому в одной точке проводу, подверженному электромагнитному влиянию

1.2.5 Определение напряжённости электрического поля заключение

Библиографический список

Введение

Развитие техники сопровождается непрерывным повышением уровня потребления электрической энергии и совершенствованием применяемого оборудования. Электрическая энергия значительно облегчает и совершенствует труд человека и в то же время является источником потенциальной опасности, которая может привести к тяжёлым последствиям.

Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает биологическое, электрохимическое, тепловое и механическое действие.

Многообразие действия электрического тока приводят к различным электротравмам, которые сводятся к двум видам:

- местные электротравмы, при которых возникает местное (локальное) повреждение организма;
- общие электротравмы (электрический удар), когда из-за нарушения нормальной деятельности жизненно важных органов и систем поражается весь организм (или создаётся угроза поражению).

Электробезопасность – это системам организационных, технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного действия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Организационные мероприятия включают в себя обучение персонала способам и правилам защиты от поражающего действия электрического тока. Так как не обученный человек, в случае попадания его под действие электрического тока, оказывается, как правило, в более тяжёлых условиях, чем опытный электротехник. Это связано с тем, что квалифицированный работник сможет правильно оценить степень возникшей опасности и применить рациональные приёмы освобождения себя от действия электрического тока.

Требования к техническим мерам защиты регламентируются нормативными документами:

- правилами устройства электроустановок (ПУЭ);
- комплексов стандартов ГОСТ (МЭК), РД, СНиП, СП, Приказы.

Контрольная работа по дисциплине «Охрана труда и электробезопасность» включает в себя решение задач и ответы на теоретические вопросы. При выполнении контрольной работы студент должен подробно ответить на три теоретических вопроса и решить 5 задач. Номер варианта для решения задач устанавливается по последней цифре номера варианта, а варианты теоретических вопросов приведены в таблице 1.1.

При выполнении контрольной работы ответы на вопросы излагаются в реферативной форме, приводятся пояснительные чертежи, расчётные формулы, схемы и тому подобное. Обязательно указывается ссылка на использованную литературу.

В начале работы записывается номер варианта, затем вопрос и, далее, ответ на него. В конце работы приводится список использованной литературы, ставится подпись и дата выполнения работы.

Работу рекомендуется выполнять с использованием средств вычислительной техники. Рекомендуемый размер шрифта 14 пт. Междустрочный интервал - 1,5. Выравнивание - по ширине. Отступ - 1,25.

1. Задания к контрольной работе

1.1 Теоретические вопросы

1. Порядок осмотра и оперативного обслуживания электроустановок.
2. Порядок и условия производства работ в действующих электроустановках.
3. Ответственные за безопасность проведения работ, их права и обязанности.
4. Порядок организации работ по наряду. Работы по одному наряду на нескольких рабочих местах, присоединениях, подстанциях.
5. Организация работ по распоряжению.
6. Состав бригады. Подготовка рабочего места и первичный допуск бригады к работе по наряду и распоряжению.
7. Надзор при проведении работ, изменения в составе бригады. Оформление перерывов в работе и повторный допуск к работе.
8. Окончание работы, сдача – приёмка рабочего места. Закрытие наряда, распоряжения.
9. Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения. Отключения. Проверка отсутствия напряжения.
- 10 Группы по электробезопасности электротехнического персонала и условия их присвоения. Удостоверение о проверке знаний норм и правил работы в электроустановках.
11. Местные электротравмы. Характеристика местных электрических травм (электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, механические повреждения и электроофтальмия).
12. Электрический удар. Характеристика электрических ударов. Прекращение сердечной деятельности, прекращение дыхания, электрический шок.
13. Характер воздействия на человека токов различного значения. Характеристика ощутимого тока, неотпускающего тока, фибрилляционного тока.
14. Влияние пути тока на исход поражения электрическим током. 15. Влияние частоты и рода тока на исход поражения электрическим током.

16. Критерии безопасности электрического тока. Напряжение прикосновения.

17. Условия окружающей среды, влияющие на исход поражения человека электрическим током (атмосферные условия, углекислый газ, электрическое поле, магнитное поле).

18. Освобождение человека от действия электрического тока. Определение состояния пострадавшего. Оказание первой медицинской помощи.

19. Электромагнитные поля и излучения. Воздействие электромагнитных полей и электростатического поля на человека.

20. Способы защиты от электромагнитных полей и излучений.

21. Системы заземления электрических сетей. Электрическая цепь с системой заземления TN, TT, IT.

22. Классификация помещений и территорий по электробезопасности.

23. Маркировка и условное обозначение характеристик электротехнических устройств (электроустановок).

24. Основные требования к применению защиты персонала от поражения электрическим током. Характеристика электрического разделения сетей, изолирующих площадок, малого напряжения, двойной изоляции и выравнивания потенциалов.

25. Основные требования к применению защиты персонала от поражения электрическим током. Требования к ограждениям и барьерам. Оптимизация защиты в распределительных сетях.

26. Требования к устройству и применению заземлителей.

27. Требования к устройству и применению заземляющих и защитных проводников.

28. Заземление и системы уравнивания электрических потенциалов в электроустановках, содержащих оборудование обработки информации.

29. Электроустановки и их части, подлежащие защитному заземлению и защитному занулению.

30. Виды заземляющих устройств и требования, предъявляемые к ним.

Таблица 1.1 – Варианты заданий

№ варианта	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Номера вопросов	1, 11, 21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5, 15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20, 30

1.2 Задачи

1.2.1 Оценка опасности прикосновения к однофазной двухпроводной, изолированной от земли сети

Рассмотрим одну из простейших сетей – однофазную однопроводную, изолированную от земли, у которой ёмкость проводов относительно земли можно принять равной нулю. Такой может быть, например воздушная сеть до 1000 В небольшой протяжённости.

Необходимо оценить опасность прикосновения человека к одному из проводов этой сети, то есть определить напряжение прикосновения U_{np} , под которым окажется человек и ток I_h , проходящий через человека.

При нормальном режиме работы сети напряжение прикосновения (рисунок 1.2.1, а) можно рассчитать по формуле 1.2.1:

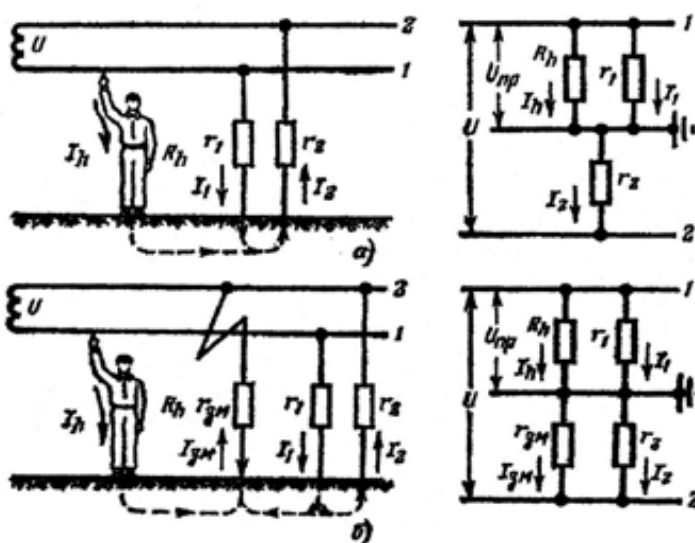


Рисунок – 1.2.1 Прикосновение человека к проводу однофазной двухпроводной сети.

а – при нормальном режиме работы сети; б – при аварийном режиме;

1,2 – номера проводов.

$$U_{np} = U \cdot \left(\frac{R_h}{2 \cdot R_h + r} \right), \quad (1.2.1)$$

где, U_{np} – напряжение прикосновения, В;

U – напряжение сети, В;

R_h – электрическое сопротивление тела человека, Ом;

r – сопротивление изоляции линии относительно земли, Ом.

Формула (1.2.1) справедлива, если считать, что $r_1 = r_2 = r$ (рисунок 1.2.1, а). Если $r_1 \neq r_2$, то U_{np} рассчитывается по формуле 1.2.2:

$$U_{np} = U \cdot \left(\frac{R_h \cdot r_1}{r_1 \cdot r_2 + r_1 \cdot R_h + r_2 \cdot R_h} \right), \quad (1.2.2)$$

Ток, проходящий через тело человека, рассчитывается по формуле 1.2.3:

$$I_h = \frac{U_{np}}{R_h} = U \cdot \left(\frac{r_1}{r_1 \cdot r_2 + r_1 \cdot R_h + r_2 \cdot R_h} \right), \quad (1.2.3)$$

где, I_h – ток, проходящий через тело человека, А;

r_1, r_2 – сопротивление изоляции линии относительно земли, Ом.

Пример 1.2.1. Человек прикоснулся к проводу однофазной двухпроводной линии, изолированной от земли (рисунок 1.2.1, а).

Дано $R_h = 1000$ Ом; $r_1 = r_2 = r$. Определить U_{np} при $r = 10$ кОм, $U = 220$ В, $f = 50$ Гц. Сделать выводы.

Решение. По (1.2.1) находим:

$$U_{np} = 220 \cdot \left(\frac{1000}{2 \cdot 1000 + 10000} \right) = 18,3 \text{ В.}$$

По таблице 1.2.1 находим, что наибольшее допустимое значение напряжения прикосновения составляет 2 В.

Вывод: Расчётное значение U_{np} превышает допустимое. Необходимо увеличить сопротивление изоляции r .

Таблица 1.2.1 – Наибольшие допустимые напряжения прикосновения $U_{пр}$ и

поражающие токи $I_{\text{ч}}$ при нормальном режиме работы ЭУ

Род и частота тока	Наибольшие допустимые значения	
	$U_{\text{пр}}, \text{В}$	$I_{\text{ч}}, \text{мА}$
Переменный ток 50 Гц	2	0,3
Переменный ток 400 Гц	3	0,4

Примечание. Настоящие нормы установлены исходя из реакции ощущения и соответствуют продолжительности воздействия тока на человека не более 10 мин. в сутки.

Пример 1.2.2. Определить I_h при прикосновении человека к проводу 1 (рисунок 1.2.1, а).

Дано $R_h = 1000 \text{ Ом}$, $r_1 = 40 \text{ кОм}$, $r_2 = 10 \text{ кОм}$, $U = 220 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$. Сделать выводы.

Решение. По 1.2.3 находим:

$$I_h = 220 \cdot \left(\frac{40}{40 \cdot 10 + 40 \cdot 1 + 10 \cdot 1} \right) = 19,5 \text{ мА}$$

Вывод: Расчетное значение превышает допустимое. Необходимо увеличить сопротивление изоляции проводов относительно земли.

При аварийном режиме, когда один из проводов сети, например 2, замкнут на землю через сопротивление $r_{\text{зм}}$ (рисунок 1.2.1, б), напряжение прикосновения и ток через человека, прикоснувшегося к исправному проводу, определяются полученными выражениями (1.2.2) и (1.2.3), в которых r_2 должно быть заменено на r_3 – эквивалентное сопротивление параллельно включённых сопротивлений r_2 и $r_{\text{зм}}$. Эквивалентное сопротивление рассчитывается по формуле :

$$r_3 = \frac{r_2 \cdot r_{\text{зм}}}{r_2 + r_{\text{зм}}}, \quad (1.2.4)$$

Так как $r_{\text{зм}}$ обычно мало по сравнению с r_1 , r_2 и R_h , то $r_{\text{зм}}$ может быть принято равным нулю, тогда $U_{\text{пр}} \approx U$, а $I_h \approx U / R_h$.

Пример 1.2.3. Определить $U_{\text{пр}}$ при прикосновении человека к проводу согласно (рисунок 1.2.1, б). Данные сети приведены в примере 1.2.1. Сопротивление

замыкание провода на землю $r_{3м} = 25$ Ом. Сделать выводы.

Решение: При $r_1 = r_2 = 10$ кОм $r_3 = \frac{10^4 \cdot 25}{10^4 + 25} = 24,9$ Ом.

U_{np} из выражения (1.2.2):

$$U_{np} = 220 \cdot \left(\frac{10^4 \cdot 10^3}{10^4 \cdot 24,9 + 10^4 \cdot 10^3 + 24,9 \cdot 10^3} \right) = 219,3 \text{ В}$$

Вывод: При замыкании провода на землю, человек, прикоснувшийся к исправному проводу, оказывается под напряжением, равным почти полному напряжению линии независимо от сопротивления изоляции проводов. При аварийном режиме защитная роль изоляции проводов практически полностью утрачена. Опасность поражения человека током значительно выше, чем в случае прикосновения к тому же проводу сети в период её нормальной работы.

Задание 1: Рассчитать U_{np} , I_h при нормальной работе сети и U_{np} при аварийной работе сети.

Исходные данные таблица 1.2.2

Таблица 1.2.2 – Исходные данные для оценки опасности прикосновения к однофазной двухпроводной, изолированной от земли сети

Последняя цифра номера варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
f , Гц	50	400	0	50	400	0	50	400	0	50
U , В	220	380	500	220	380	500	220	380	500	380
R_h , кОм	1	3	5	7	9	1	3	5	7	9
r , кОм	10	20	40	60	80	40	60	80	20	10
r_1 , кОм	80	60	40	20	10	5	10	20	40	60
r_2 , кОм	60	40	10	5	1	3	30	15	7	5
$r_{3м}$, Ом	50	30	25	50	30	25	70	60	35	30

1.2.2 Оценка опасности прикосновения к оборванному и лежащему на земле проводу

Известно, U_{np} это напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек, то есть это падение напряжение в сопротивлении тела человека:

$$U_{np} = R_h \cdot I_h \quad (1.2.5)$$

В области защитных занулений, заземления и так далее, одна из этих точек имеет потенциал заземлителя φ_z , В, а вторая - потенциал основания в том месте, где стоит человек, φ_{oc} , В. Напряжение прикосновения в этом случае будет:

$$U_{np} = \varphi_z - \varphi_{oc}, \quad (1.2.6)$$

или

$$U_{np} = \varphi_z \cdot \alpha_1, \quad (1.2.7)$$

где, α_1 – коэффициент прикосновения.

Ток, стекающий в землю через человека, стоящего на земле, полу и другом основании, преодолевает сопротивление не только тела человека, но и тех участков основания на которых стоит человек.

Сопротивление основания на котором стоит человек называется сопротивлением растекания основания или сопротивление растекания ног человека. То есть разность потенциалов (1.2.6), оказывается приложенной не только к сопротивлению тела человека, но и к последовательно соединённому с ним сопротивлению основания на котором стоит человек (рисунок 1.2.2), то есть:

$$\varphi_z \cdot \alpha_1 = I_h \cdot (R_h + R_{oc}) \quad (1.2.8)$$

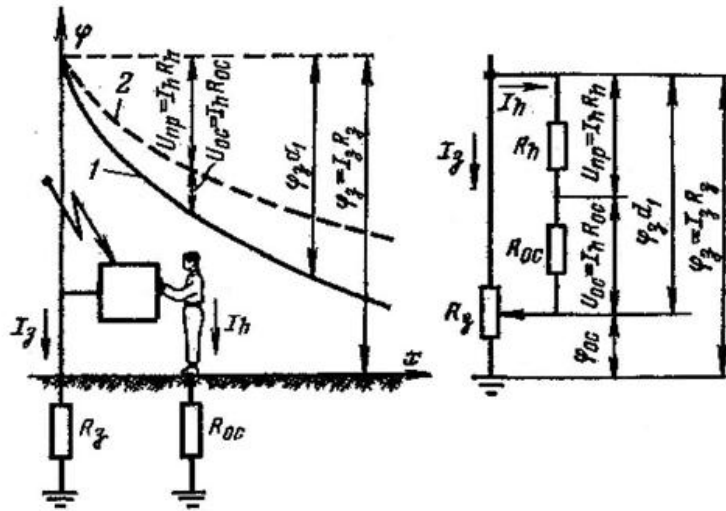


Рисунок 1.2.2 – К определению напряжения прикосновения с учётом падения напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек.

1 – потенциальная кривая; 2 – кривая, характеризующая изменение $U_{пр}$ с изменением расстояния от заземлителя.

Заменив в (1.2.8) I_h его значением из (1.2.5) получаем:

$$\varphi_3 \cdot \alpha_1 = \left(\frac{U_{пп}}{R_h} \right) \cdot (R_h + R_{oc}) \quad (1.2.9)$$

Из выражения (1.2.9) получаем напряжение прикосновения с учётом падения напряжения в сопротивлении растеканию основания:

$$U_{пп} = (\varphi_3 \cdot \alpha_1) \cdot \left(\frac{R_h}{(R_h + R_{oc})} \right), \quad (1.2.10)$$

или

$$U_{пп} = \varphi_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2, \quad (1.2.11)$$

где, α_2 – коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек,

$$\alpha_1 = \frac{1}{\left[\frac{1}{(R_h + R_{oc})} \right]}.$$

С учётом площади подошвы ног человека и сопротивления одиночного заземлителя растеканию тока в однородном грунте значение α_2 рассчитывается:

$$\alpha_2 = \frac{1}{\left[\frac{1}{(R_h + 1,5 \cdot \rho)} \right]}, \quad (1.2.12)$$

где, ρ – удельное сопротивление грунта, Ом $\times$ м.

Пример 1.2.4 Человек коснулся оборванного и лежащего на земле провода воздушной линии, находящейся под напряжением (рисунок 1.2.3)

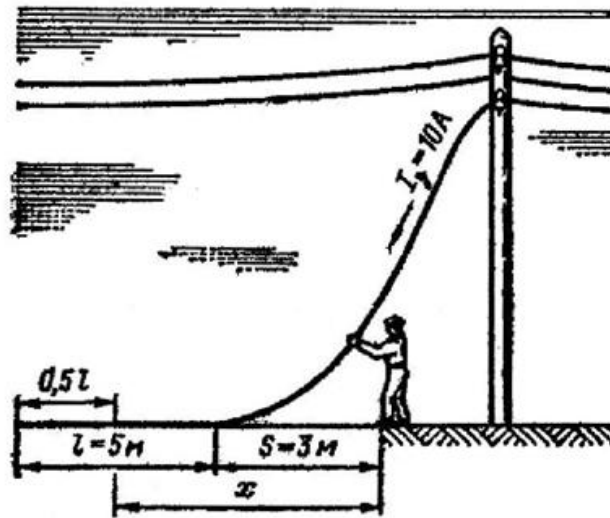


Рисунок 1.2.3 – К примеру 1.2.4

Определить U_{np} , если длина участка провода, лежащего на земле $l = 5$ м; расстояние от человека до этого участка $S = 3$ м; диаметр провода $2r = 1$ см; ток замыкания на землю $I = 10$ А; удельное сопротивление грунта $\rho = 10^2$ Ом $\cdot$ м; сопротивление тела человека $R_h = 10^3$ Ом.

Решение: Рассматривая провод, лежащий на земле, как протяжённый заземлитель круглого сечения, определим потенциал провода по формуле:

$$\varphi_z = \frac{I_z \cdot \rho}{(\pi \cdot l) \cdot \ln\left(\frac{l}{r}\right)}, \quad (1.2.13)$$

Подставляя значения в формулу (1.2.13) получим:

$$\varphi_z = \frac{10 \cdot 10^2}{(3,14 \cdot 5) \cdot \ln\left(\frac{5}{0,05}\right)} = 440 \text{ В.}$$

Потенциал на поверхности земли в том месте, где стоит человек рассчитаем по формуле:

$$\varphi_{oc} = \frac{I_z \cdot \rho}{(2 \cdot \pi \cdot l) \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot x + l}{2 \cdot x - l}\right)}, \quad (1.2.14)$$

Подставляя значения в формулу (1.2.14) получим:

$$\varphi_{oc} = \frac{10 \cdot 10^2}{(2 \cdot 3,14 \cdot 5) \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot (2,5 + 3) + 5}{2 \cdot (2,5 + 3) - 5}\right)} = 30 \text{ В.}$$

Коэффициент напряжения прикосновения по формуле (1.2.12):

$$\alpha_2 = \frac{1}{\left[\frac{1 + 1,5 \cdot 10^2}{10^3} \right]} = 0,87.$$

Искомое напряжение прикосновения:

$$U_{np} = (440 - 30) \cdot 0,87 = 360 \text{ В.}$$

Задание 2: Рассчитать U_{np} человека к оборванному и лежащему на земле проводу.
Исходные данные таблица 1.2.3.

Таблица 1.2.3 – Исходные данные для расчёта U_{np} человека к оборванному и лежащему на земле проводу

Последняя цифра номера варианта студента	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l , м	1	2	3	4	5	1,5	2,5	3,5	0,5	1,2
S , м	0,5	1,3	2,7	3	4	1	2,3	3	0,2	0,5
I , А	10	15	5	7	12	9	11	13	4	8
ρ , Ом $\times$ м	800	500	300	200	150	100	60	50	30	20
R_h , кОм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1

1.2.3 Оценка опасности прикосновения к незаземлённому проводу, подверженному электромагнитному влиянию

Опасность прикосновения к проводу, на котором наводится продольная э.д.с., оценивается током I_h , проходящим через тело человека, или напряжением прикосновения $U_{np} = I_h \cdot R_h$.

Прикосновение к незаземлённому проводу рассматривается как заземление его через сопротивление тела человека R_h , Ом. При этом учитывается, что провод имеет ещё две связи с землёй: через емкостные сопротивления x_{cn} и x_{ck} , равные друг другу и включённые на его концах (рисунок 1.2.4).

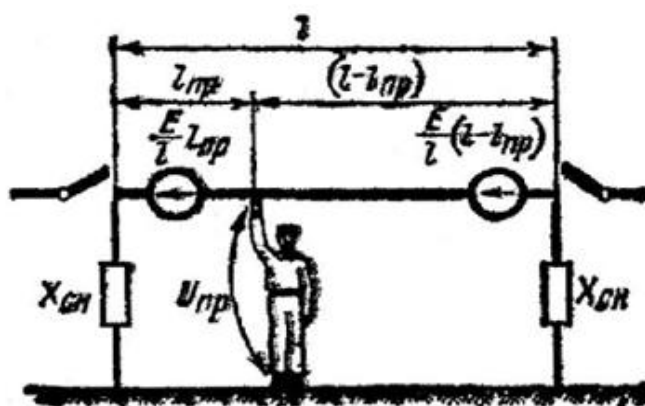


Рисунок 1.2.4 – Прикосновение человека к незаземлённому проводу, подверженному электромагнитному влиянию

Пример 1.2.5. Человек прикасается к отключённому и незаземлённому проводу ВЛ – 110 кВ длиной 100 км, на котором наводится продольная э.д.с. $E = 30\,000$ В.

Определить: U_{np} и I_h для случаев прикосновения к началу провода и к точке (l_p), отстоящей от начала на 40 км, а также $l_{без}$.

Дано: ёмкость провода относительно земли $C_{bo} = 7,2 \cdot 10^{-9}$ Ф/км; $R_h = 1000$ Ом; $U_{np. доп.} = 40$ В.

Решение: Определяем емкостное сопротивление по формуле:

$$x_{cn} = x_{ck} = \frac{2}{\omega \cdot C_{bo} \cdot l}, \quad (1.2.15)$$

где, $\omega = 314$ рад/с (при частоте переменного тока 50 Гц).

Подставляя значения в формулу (1.2.15) получим:

$$x_{ск} = \frac{2 \cdot 10^9}{314 \cdot 7,2 \cdot 100} = 8850 \text{ Ом.}$$

Далее определяем $U_{пр}$ по формуле :

$$U_{пр} = \left(\frac{E}{I} \right) \cdot (I - 2 \cdot I_{пр}) \cdot \left(\frac{R_h}{\sqrt{4 \cdot R_h^2 + x_{ск}^2}} \right), \quad (1.2.16)$$

Проходящий через человека ток рассчитывается по формуле :

$$I_{пр} = \left(\frac{E}{I} \right) \cdot \left(\frac{I - 2 \cdot I}{\sqrt{4 \cdot R_h^2 + x_{ск}^2}} \right), \quad (1.2.17)$$

Для случая $l_{пр} = 0$ км

$$U_{пр} = \left(\frac{30000}{100} \right) \cdot 100 \cdot \left(\frac{1000}{\sqrt{4 \cdot 1000^2 + 8850^2}} \right) = 3250 \text{ В;}$$

$$I_h = \frac{3250}{1000} = 3,25 \text{ А;}$$

Для случая $l_{пр} = 40$ км

$$U_{пр} = \left(\frac{30000}{100} \right) \cdot (100 - 2 \cdot 40) \cdot \left(\frac{1000}{\sqrt{4 \cdot 1000^2 + 8850^2}} \right) = 650 \text{ В;}$$

$$I_h = \frac{650}{1000} = 0,65 \text{ А;}$$

Вывод: Для рассмотренных случаев прикосновение недопустимо.

Определяем зону, где прикосновение безопасно. Для незаземлённого провода эта зона лежит по обе стороны от его середины (рисунок 1.2.5). Это расстояние рассчитывается по формуле:

$$I_{без} = I \cdot \left(\frac{U_{пр. доп}}{E} \right) \cdot \left(\frac{\sqrt{4 \cdot R_h^2 + x_{ск}^2}}{R_h} \right), \quad (1.2.17)$$

Подставляя значения в формулу (1.2.17) получаем:

$$I_{без} = 100 \cdot \left(\frac{40}{30000} \right) \cdot \left(\frac{\sqrt{4 \cdot 1000^2 + 8850^2}}{1000} \right) = 1,2 \text{ км.}$$

Таким образом, прикасаться к проводу безопасно в пределах 0,6 км от его

средины как в одну, так и в другую сторону (рисунок 1.2.5).

Задание 3: Рассчитать $U_{пр}$ и I_h для случаев прикосновения к началу провода и к точке, отстоящей от начала на (по вариантам) км, а также $l_{без.}$

Для всех вариантов $R_h = 1000 \text{ Ом}$; $U_{пр. доп.} = 40 \text{ В}$.

Исходные данные таблица 1.2.4.

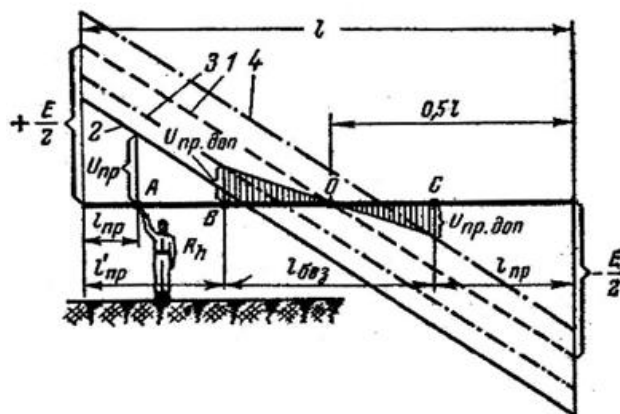


Рисунок 1.2.5 – Потенциальная характеристика незаземлённого провода к

которому прикасается человек. 1 – до прикосновения человека к проводу;

2 – после прикосновения человека к проводу в точке A (общий случай);

3 и 4 – после прикосновения к точкам B и C, являющимися границами безопасной зоны.

Таблица 1.2.4 – Исходные данные для оценки опасности прикосновения к незаземлённому проводу, подверженному электромагнитному влиянию

Последняя цифра в зачётной книжке студента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l, \text{ км}$	150	100	50	30	70	150	100	50	30	70
$l_p, \text{ км}$	10	20	30	5	40	100	30	10	5	20
$E \cdot 10^3, \text{ В}$	30	27	12	10	15	40	35	13	10	25
$C_{bo} \cdot 10^{-9}, \text{ Ф/км}$	7,2	1,1	6,2	7,0	1,5	2,7	3,1	2,0	6,8	5,3

1.2.4 Оценка опасности прикосновения к заземлённому в одной точке проводу, подверженному электромагнитному влиянию

Прикосновение к проводу, заземлённому в одной точке A через сопротивление R_3 можно рассматривать как повторное заземление его в точке прикосновения B через сопротивление тела человека R_h (рисунок 1.2.6).

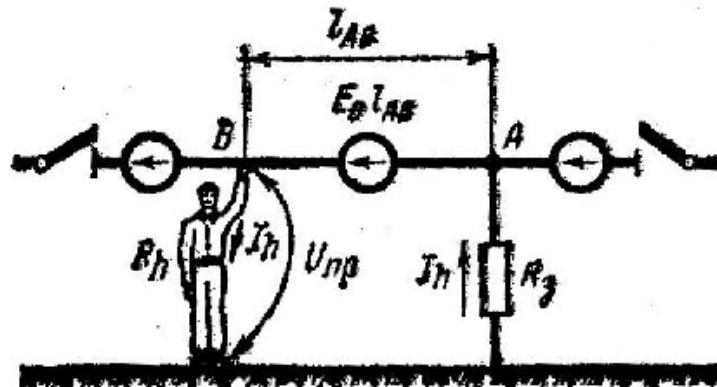


Рисунок. 1.2.6 Прикосновение человека к проводу, заземлённому в одной точке

Ток, проходящий через человека равен, как это видно из рисунка 1.2.6:

$$I_h = (E_0 \cdot l_{AB}) \cdot (R_h + R_3), \quad (1.2.18)$$

где, l_{AB} – длина провода между точками заземления и прикосновения, км.

Напряжение прикосновения будет равно:

$$U_{пр} = I_h \cdot R_h = (E_0 \cdot l_{AB}) \cdot [R_h / (R_h + R_3)], \quad (1.2.19)$$

Зона безопасного прикосновения это расстояние от точки заземления провода A до точки, где напряжение прикосновения не превышает $U_{пр.дон}$. Зона безопасного прикосновения рассчитывается по формуле:

$$l_{без} = (U_{пр.дон} / E_0) \cdot [(R_h + R_3) / R_h], \quad (1.2.20)$$

Эта зона расположена по одну сторону от точки заземления. Если провод продолжается за точкой A , то и там будет такая же зона (рисунок 1.2 7).

Если $R_3 \ll R_h$, то уравнения (1.2.18) – (1.2.20) значительно упрощаются/1/:

$$I_h = (E_0 \cdot l_{AB}) / R_h;$$

$$U_{np} = (E_0 \cdot l_{AB});$$

$$l_{без} = U_{np.доп.} / E_0 .$$

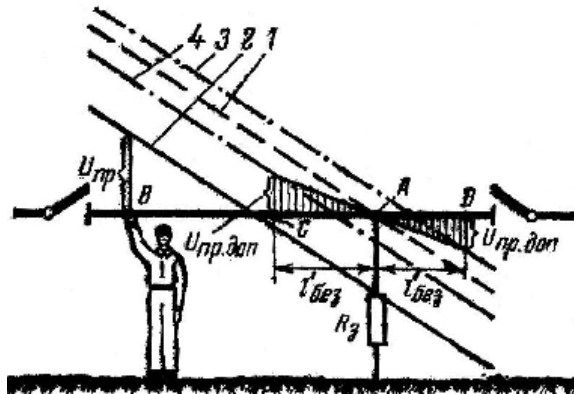


Рисунок 1.2.7 – Потенциальные характеристики провода заземлённого в одной точке A , до прикосновения к нему человека и после. 1 – до прикосновения человека к проводу; 2 – после прикосновения человека к проводу в точке B (общий случай); 3 и 4 – после прикосновения к точкам C и D , являющимися границами безопасной зоны.

Пример 1.2.6. Человек прикасается к отключённому и заземлённому в одном месте проводу линии 110 кВ, на котором наводится продольная э.д.с. $E_0 = 300$ В/км.

Определить U_{np} , I_h , и $l_{без}$, если расстояние l_{AB} составляет 100 и 10 км; $R_з = 10$ Ом; $R_h = 1000$ Ом; $U_{np.доп.} = 40$ В.

Решение: Учитывая, что $R_з \ll R_h$ используются упрощённые формулы.

При $l_{AB} = 100$ км получим:

$$U_{np} = 300 \times 100 = 30\,000 \text{ В};$$

$$I_h = 30\,000 / 1000 = 30 \text{ А}.$$

При $l_{AB} = 10$ км получим:

$$U_{np} = 300 \cdot 10 = 3000 \text{ В};$$

$$I_h = 3000 / 1000 = 3 \text{ А}.$$

Для безопасной зоны найдём:

$$l_{без} = 40 / 300 = 0,133 \text{ км}.$$

Такая же зона находится и за точкой заземления.

Задание 4: Рассчитать $U_{\text{пр}}$ и $I_{\text{н}}$ к точке (по вариантам) км, а также $I_{\text{без}}$, если $R_3 = 10 \text{ Ом}$; $R_{\text{н}} = 1000 \text{ Ом}$; $U_{\text{пр. доп.}} = 40 \text{ В}$.

Исходные данные приведены в таблице 1.2.5.

Таблица 1.2.5 – Исходные данные для оценки опасности прикосновения к заземлённому проводу, подверженному электромагнитному влиянию

Последняя цифра в зачётной книжке	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l_1, \text{ км}$	150	100	50	30	70	150	100	50	30	70
$l_2, \text{ км}$	10	20	30	5	40	100	30	10	5	20
$E \cdot 10, \text{ В/км}$	30	27	12	10	15	40	35	13	10	25

1.2.5 Определение напряжённости электрического поля

В различных точках пространства вблизи электроустановок промышленной частоты напряжённость электрического поля имеет разные значения. Она зависит от разных факторов: номинального напряжения электроустановки, расстояния между точкой, в которой определяется напряжённость поля и токоведущими частями, высоты размещения над землёй токоведущих частей так далее.

Напряжённость может быть измерена с помощью специальных приборов, в некоторых случаях, например, вблизи воздушных линий электропередач, определена расчётом.

В качестве примера определим напряжённость электрического поля, создаваемого трёхфазной воздушной линией электропередачи с горизонтальным расположением проводов.

Пример 1.2.7. Определить напряжённость электрического поля на высоте $h = 2 \text{ м}$ от земли на разных расстояниях от оси линии 500 кВ в середине промежуточного пролёта. Линия имеет горизонтальное расположение

проводов с расстоянием между ними $d = 10,5$ м. Фазы расщеплённые, состоящие из трёх проводов АСО – 500 с радиусом $r_0 = 1,51$ см с шагом расщепления (расстояния между ними) $a = 40$ см. Высота подвеса проводов на опоре $H_n = 22$ м, габарит линии $H_0 = 8,65$ м, средняя высота подвеса проводов над землёй $H_{cp} = 13,1$ м. Грозозащитные тросы изолированы от опор, то есть влияние их на электрическое поле проводов не учитывается (рис. 1.2.8).

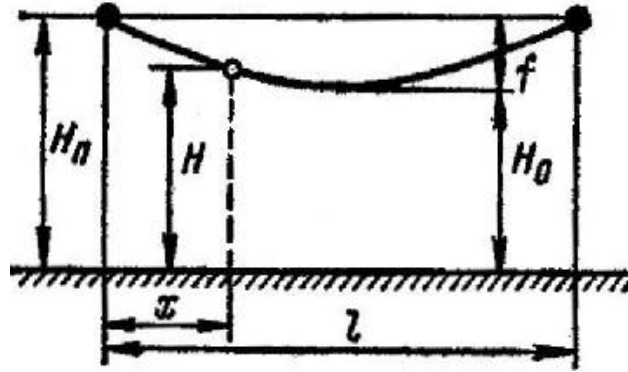


Рисунок 1.2.8 – К определению высоты размещения провода над землёй H на разных расстояниях от опоры x .

Высота размещения провода над землёй H принимается равной фактической высоте размещения участка (точки) провода, ближайшей к точке P (рисунок 1.2.9), поскольку на формирование поля в этой точке основное влияние оказывает ближайший участок провода.

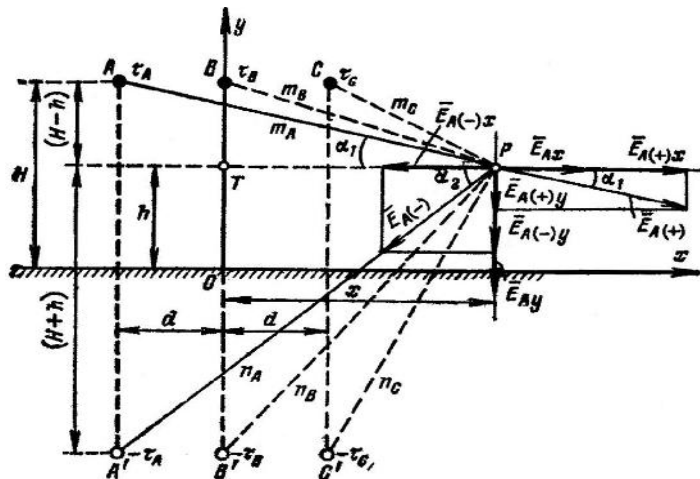


Рисунок 1.2.9 – К вычислению напряжённости электрического поля вблизи воздушной линии электропередачи в точке P A, B, C – фазы (провода) линии; A, B, C – зеркальные изображения фаз; m_A, m_B, m_C – кратчайшие расстояния от точки P до фаз линии; n_A, n_B, n_C – кратчайшие расстояния от точки P до

зеркальных изображений фаз.

Высота H определяется из следующего выражения:

$$H = H_n - [(4 \cdot f \cdot x) / l] \cdot [1 - (x / l)], \quad (1.2.21)$$

где, H_n - высота подвеса провода на опоре, м; $f = (H_n - H_0)$ – стрела провеса провода; H_0 – габарит линии (наименьшее расстояние от провода до земли), м; x – расстояние по горизонтали от опоры до расчётной точки провода, м; l – длина пролёта линии, м.

Предварительно определяется ёмкость фазы относительно земли по формуле:

$$C = (2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0) / \ln \left[(2 \cdot H_{cp} \cdot d) / \left(r \cdot \sqrt[3]{(4 \cdot H_{cp}^2 + d^2) \cdot \sqrt{H_{cp}^2 + d^2}} \right) \right], \quad (1.2.22)$$

где, H_{cp} – средняя высота подвеса проводов над поверхностью земли, м;
 $[H_{cp} = 1/3 \cdot (H_n + 2 \cdot H_0)]$.

При расщеплённых фазах, состоящих каждая из n проводов радиусом r_0 с расстоянием между ними a вместо r надо подставлять в (1.2.22) эквивалентный радиус $r_{экв}$, который рассчитывается по формуле:

$$r_{экв} = P \cdot \sqrt[n]{r_0 \cdot a^{n-1}}, \quad (1.2.23)$$

где, P – поправочный коэффициент. При $n = 2$ и $n = 3$, коэффициент $P = 1$, а при $n = 4$, $P = 1,09$.

Подставляя значения в формулу (1.2.22) получаем:

$$C = (2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}) / \ln \left[(2 \cdot 13,1 \cdot 10,5) / \left(\sqrt[3]{0,0151 \cdot 0,4^2} \cdot \sqrt[3]{(4 \cdot 13,2^2 + 10,5^2) \cdot \sqrt{13,1^2 + 10,5^2}} \right) \right] = 12 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м},$$

Затем находим напряжённость поля в расчётных точках по формуле:

$$E = C \cdot U_\phi \cdot \sqrt{(2 \cdot k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3 \cdot (k_3 - k_5)^2 + (2 \cdot k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3 \cdot (k_4 - k_6)^2}, \quad (1.2.24)$$

Коэффициенты k имеют следующие значения:

$$\begin{aligned} k_1 &= (x + d) / m_A^2 - (x + d) / n_A^2; & k_2 &= (H - h) / m_A^2 - (H + h) / n_A^2; \\ k_3 &= x / m_B^2 - x / n_B^2; & k_4 &= (H - h) / m_B^2 - (H + h) / n_B^2; \\ k_5 &= (x - d) / m_C^2 - (x - d) / n_C^2; & k_6 &= (H - h) / m_C^2 - (H + h) / n_C^2; \end{aligned}$$

Отрезки m и n являются гипотенузами соответствующих прямоугольных треугольников (рисунок 1.2.9) и определяются

следующими уравнениями:

$$m_A = \sqrt{(x+d)^2 + (H-h)^2};$$

$$n_A = \sqrt{(x+d)^2 + (H+h)^2};$$

$$m_B = \sqrt{x^2 + (H-h)^2}$$

$$n_B = \sqrt{x^2 + (H+h)^2}$$

$$m_C = \sqrt{(x-d)^2 + (H-h)^2};$$

$$n_C = \sqrt{(x-d)^2 + (H+h)^2}$$

Так как напряжённость поля требуется определить в середине пролёта, высоту H принимаем равной габариту линии, то есть 8,65 м.

Вначале определяем напряжённость в точке T , находящейся под средней фазой на высоте 2 м от земли (рисунок 1.2.10), для этой точки $x = 0$ (рисунок 2.1.9), а отрезки m и n равны.

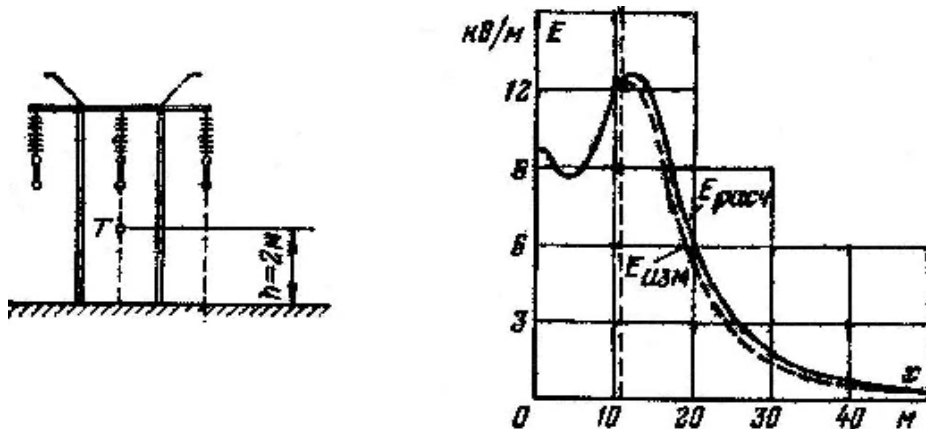


Рисунок 1.2.10 – К вычислению напряжённости электрического поля на разных расстояниях от оси линии 500 кВ (на высоте 2 м от земли)

$$m_A = m_C = \sqrt{(8,65-2)^2 + 10,5^2} = \sqrt{131,9} \text{ м};$$

$$n_A = n_C = \sqrt{(8,65+2)^2 + 10,5^2} = \sqrt{223,6} \text{ м};$$

$$m_A = m_C = \sqrt{(8,65-2)^2 + 10,5^2} = \sqrt{131,9} \text{ м};$$

$$m_B = 8,65 - 2 = 6,65 \text{ м};$$

$$n_B = 8,65 + 2 = 10,65 \text{ м}.$$

Коэффициенты k для точки T будут:

$$k_1 = 10,5 / 131,9 - 10,5 / 223,6 = 3,28 \cdot 10^{-2};$$

$$k_2 = 6,65 / 131,9 + 10,65 / 223,6 = 9,8 \cdot 10^{-2};$$

$$k_3 = 0;$$

$$k_4 = 6,65 / 6,65^2 + 10,65 / 10,65^2 = 24,42 \cdot 10^{-2};$$

$$k_5 = -10,5 / 131,9 - (-10,65 / 223,6) = -3,28 \cdot 10^{-2};$$

$$k_6 = 6,65 / 131,9 + 10,65 / 223,6 = 9,8 \cdot 10^{-2}.$$

Подставляя численные значения величин в выражение (1.2.24) получим значение напряжённости электрического поля в точке T :

$$E = 12 \cdot 10^{-12} \cdot 500 \cdot 10^3 / 4 \cdot \pi \cdot 8,5 \cdot 10^{-12} \cdot \sqrt{3} \times \\ \times \sqrt{10^{-4} \cdot (2 \cdot 3,28 + 3,28)^2 + 3 \cdot 3,28^2 + (2 \cdot 9,8 - 24,42 - 9,8)^2 + 3 \cdot (24,42 - 9,8)^2} = 9700 \text{ В/м} = 9,7 \text{ кВ/м}$$

Аналогично определяется напряжённость поля в других точках (при разных значениях x). Результаты расчёта изображаются в виде кривой $E_{расч.}$ на рисунке 1.2.10. Там же построена кривая $E_{изм.}$, построенная по данным измерений на линии 500 кВ.

Задание 5: Определить напряжённость электрического поля на высоте h м от земли на разных расстояниях от оси линии 500 кВ. Линия имеет горизонтальное расположение проводов с расстоянием между ними $d = 10,5$ м. Фазы расщеплённые, состоящие из трёх проводов АСО – 500 с радиусом $r_0 = 1,51$ см с шагом расщепления (расстояния между ними) $a = 40$ см. Высота подвеса проводов на опоре $H_n = 22$ м, габарит линии $H_0 = 8,65$ м, средняя высота подвеса проводов над землёй $H_{ср} = 13,1$ м. Грозозащитные тросы изолированы от опор, то есть влияние их на электрическое поле проводов не учитывается (рисунок 1.2.8).

Сделать выводы.

Исходные данные приведены в таблице 1.2.6.

Таблица 1.2.6 – Исходные данные для оценки опасности действия электрического поля

Последняя цифра в з/кн	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , м	1,5	1,7	1,0	1,8	1,9	2,0	1,5	1,7	1,9	2,0

х, м	0	5	10	15	0	5	10	15	2,5	3,0

Примечание:

1. Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м.

2. При напряженностях в интервале больше 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в ЭП T (час) рассчитывается по формуле:

$$T = (50 / E) - 2, \text{ где}$$

E - напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м;

T - допустимое время пребывания в ЭП при соответствующем уровне напряженности, ч.

Заключение

Охрана труда и электробезопасность не только актуальная область знаний для электротехнического персонала, но и сложная в теоретическом плане дисциплина. В методических указаниях в систематизированном виде изложены требования к выполнению контрольной работы по предмету «Охрана труда и электробезопасность», приведены примеры решения задач, даны варианты контрольных заданий

Рассмотренные вопросы соответствуют образовательному стандарту по подготовке специалистов, охватывает широкий спектр требований к профессиональной подготовке персонала.

Литература

1. Приказ № 903н «Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» от 15 декабря 2020 г.
2. Манойлов, Владимир Евстафьевич. Основы электробезопасности [Текст] / В. Е. Манойлов. -4-е изд., перераб. и доп. -Л. : Энергоатомиздат, 1985. -384 с.
- 3.Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках, технические требования к ним [Текст]. -СПб. : Деан, 2000. -128с.
- 4.Электробезопасность [Видеозапись] : учеб. видеофильмы. -[Б. м. : б. и.], [2004]. -1 вк. (33 мин.) : цв., звук на том же нос., VHS. -(Охрана труда и техника безопасности).
- 5.Собурь, С. В.Пожарная безопасность электроустановок [Текст]: справочник / С. В. Собурь ; ред. В. И. Кузнецов. -2-е изд., доп. (с изм.). -М.: Спецтехника, 2000. -259с.
- 6.Электробезопасность [Текст] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140204, 140205, 140211, 140203 / АмГУ, Эн.ф. ; сост. А. Г. Тоушкин. -Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. -69 с.
- 7.Электробезопасность [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс по дисц. для спец. 140204, 140205, 140211, 140203 / АмГУ, Эн.ф. ; сост. А. Г. Тоушкин. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению контрольной работы

по дисциплине «Охрана труда и электробезопасность»

для бакалавров направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и

электротехника направленности (профили) подготовки:

«Электроснабжение»,

«Электроэнергетические системы и сети»,

«Цифровые технологии в электроэнергетике»

«Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем»

Составитель: Мартусенко В.Е., Мустафаев Х.М

Редактор:

Формат 60x84 1/16.	Усл. п. л. –	Уч.-изд. л. –	
Бумага газетная.	Печать офсетная.	Заказ	Тираж 50 экз.
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»			
355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1			

Издательство «Северо-Кавказский федеральный университет»
Отпечатано в типографии СКФУ

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

(подпись)
« ____ » _____ 202_ г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по организации самостоятельной работы

«Охрана труда и электробезопасность»

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Профиль подготовки: Электроэнергетические системы и сети, Электроснабжение,
Цифровые технологии в электроэнергетике и Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем

Квалификация выпускника бакалавр
Изучается в 7-8 семестрах

«СОГЛАСОВАНО»

Зав. выпускающей кафедрой АЭСиЭ
Кононов Ю.Г. _____
« ____ » _____ 20 ____ г.

Декан факультета нефтегазовой инженерии
Верисокин А.Е. _____
« ____ » _____ 20 ____ г.

Рассмотрено УМК ФНИ
« ____ » _____ 20 ____ г.
Протокол № _____
Председатель УМК

«РАЗРАБОТАНО»

Зав. кафедрой АЭСиЭ
Кононов Ю.Г. _____
« ____ » _____ 20 ____ г.

Ст. препод. кафедры АЭСиЭ
Мартусенко В.Е. _____
« ____ » _____ 20 ____ г.

Рекомендовано к размещению на
образовательном портале СКФУ

« ____ » _____ 20 ____ г.

Ставрополь, 2026

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Мартусенко В.Е.

«Охрана труда и электробезопасность»

Методические указания по организации самостоятельной работе

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Профиль подготовки: Электроэнергетические системы и сети, Электроснабжение,
Цифровые технологии в электроэнергетике и Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем
Квалификация выпускника бакалавр
Изучается в 7-8 семестрах

Ставрополь, 2026

Печатается по решению
Учебно-методического совета
Северо-Кавказского федерального
университета
УДК
ББК

Рецензенты:

Мартусенко В.Е. Охрана труда и электробезопасность: методические указания по организации самостоятельной работы — Ставрополь, 2026

В настоящем учебном пособии приведены методика и порядок проведения самостоятельной работы студентов по дисциплине «Охрана труда и электробезопасность». Оно содержит план-график выполнения самостоятельной работы, контрольные точки и виды отчетности по ним. Приведены рекомендации по организации работы с литературой, вопросы и задания для самоконтроля, методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины, и список рекомендуемой литературы. Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с Федеральным образовательным стандартом высшего образования и программой дисциплины «Охрана труда и электробезопасность» и предназначено для студентов очной и заочной формы обучения направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины	7
План-график выполнения самостоятельной работы	10
Контрольные точки и виды отчетности по ним	15
Методические рекомендации по изучению теоретического материала	17
Методические рекомендации по выполнению курсового проекта (контрольной работы)	30
Методические указания по подготовке к семинарским (практическим, лабораторным) занятиям	31
Методические указания по подготовке к экзамену (зачету)	33
Список рекомендуемой литературы	38

Введение

Самостоятельная работа является внеаудиторной и предназначена для самостоятельного изучения определенных тем дисциплины по материалам, рекомендованным преподавателем, а также в порядке подготовки к практическим занятиям.

«Охрана труда и электробезопасность» - относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Б1.В.11, в которой соединена тематика безопасного взаимодействия человека со средой обитания (производственной, бытовой, городской, природной) и вопросы защиты от негативных факторов электрического тока. Изучением дисциплины достигается формирование у специалистов представления о неразрывном единстве эффективной профессиональной деятельности с требованиями к безопасности и защищенности человека. Реализация этих требований гарантирует сохранение работоспособности и здоровья человека, готовит его к действиям в экстремальных условиях.

Для достижения этой цели в процессе изучения дисциплины решаются следующие задачи:

- вооружить обучаемых теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для:
- создания комфортного (нормативного) состояния среды обитания в зонах трудовой деятельности и отдыха человека;
- проектирования и эксплуатации техники, технологических процессов и объектов экономики в соответствии с требованиями по безопасности и экологичности;
- создания комфортного (нормативного) состояния среды обитания в зонах трудовой деятельности и отдыха человека;
- идентификации негативных воздействий среды обитания естественного, техногенного и антропогенного происхождения;
- разработки и реализации мер защиты человека и среды обитания от негативных воздействий;

- проектирования и эксплуатации техники, технологических процессов и объектов экономики в соответствии с требованиями по безопасности и экологичности;

- обеспечение устойчивости функционирования объектов и технических систем в штатных и чрезвычайных ситуациях;

- принятия решений по защите производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий и применения современных средств поражения, а также принятия мер по ликвидации их последствий;

- прогнозирования развития негативных воздействий и оценки последствий их действия;

- получить навыки использования технической литературой и Интернет-ресурсами в изучаемой области знаний и научиться пользоваться ими в своей дальнейшей практической деятельности.

Компетенции обучающегося

№ п/п	Содержание компетенции	Шифр
	<u>Универсальные компетенции</u>	<u>ПК- (№)</u>
	способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов	УК-8
	<u>Профессиональные компетенции</u>	
	способен применять знание способов производства, транспорта и использования электроэнергии	ПК-3
	способен участвовать в организации процесса эксплуатации систем электроснабжения	ПК-5

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

ЗНАТЬ	опасные и вредные действия электрического тока на организм человека; средства коллективной и индивидуальной защиты работника; методы расчета тока в трехфазной электрической сети; виды коротких замыканий в электрических сетях; о связи дисциплины с другими изучаемыми дисциплинами; роли дисциплины в дальнейшей научной и практической деятельности; теоретическую базу и практические навыки в области электробезопасности систем электроснабжения; - правовые, нормативно-технические и организационные основы охраны труда и электробезопасности, рациональные условия деятельности; анатомо-физические последствия воздействия на человека травмирующих, вредных и поражающих факторов; идентификацию травмирующих, вредных и поражающих факторов; средства и методы повышения безопасности, экологичности и устойчивости технических средств и технологических процессов; методы исследования устойчивости функционирования производственных объектов и технических систем в чрезвычайных ситуациях; методы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и разработки моделей их последствий
УМЕТЬ	составить схему замещения электрической цепи для расчета величины тока; проводить контроль параметров и уровня негативных воздействий на их соответствие нормативным требованиям; эффективно применять средства защиты от негативных воздействий; разрабатывать мероприятия по повышению безопасности и экологичности производственной деятельности; планировать и осуществлять мероприятия по повышению устойчивости производственных систем и объектов
ВЛАДЕТЬ	приемами оказания первой помощи при поражении электрическим током; безопасности и экологичности производственной деятельности; навыками планирования и осуществлять мероприятия по повышению устойчивости производственных систем и объектов.

1 Общая характеристика самостоятельной работы студента при изучении дисциплины

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности. Решение этой задачи вряд ли возможно только путем передачи знаний в готовом виде от преподавателя к студенту. Для решения этой задачи в учебные планы всех специальностей включена самостоятельная работа, составляющая 50% учебного времени студента.

В широком смысле под самостоятельной работой студентов следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов как в учебной аудитории, так и вне ее, в контакте с преподавателем и в его отсутствие.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы:

- аудиторная;
- внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Содержание внеаудиторной самостоятельной определяется в соответствии с рекомендуемыми видами заданий согласно примерной и рабочей программ учебной дисциплины. Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы являются:

- для овладения знаниями: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы), составление плана текста, графическое изображение структуры текста, конспектирование текста, выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными

документами, учебно-исследовательская работа, использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернета и др.

- для закрепления и систематизации знаний: работа с конспектом лекции, обработка текста, повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио и видеозаписей, составление плана, составление таблиц для систематизации учебного материала, ответ на контрольные вопросы, заполнение рабочей тетради, аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, конспект-анализ и др), подготовка мультимедиа сообщений/докладов к выступлению на семинаре (конференции), подготовка реферата, составление библиографии, тематических кроссвордов, тестирование и др.

- для формирования умений: решение задач и упражнений по образцу, решение вариативных задач, выполнение чертежей, схем, выполнение расчетов (графических работ), решение ситуационных (профессиональных) задач, подготовка к деловым играм, проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности, опытно экспериментальная работа, рефлексивный анализ профессиональных умений с использованием аудио- и видеотехники и др.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов. Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может осуществляться в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, может проходить в письменной, устной или смешанной форме.

Следует с первых дней обучения в вузе приучать себя к целесообразному распределению занятий по месяцам и неделям семестра. При этом очень важна равномерная работа как основное условие успешных занятий в вузе.

Высшей ступенью обучения является приобретение навыков самостоятельной творческой работы, а творческому применению знаний нужно учиться параллельно с их приобретением.

Задачами самостоятельной работы студентов по дисциплине «Охрана труда и электробезопасность» являются:

- формирования готовности студентов к поиску, обработке и применению информации для решения профессиональных задач;
- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- развитие познавательных способностей и активности студентов, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- выработка навыков эффективной самостоятельной профессиональной деятельности.

2 План-график выполнения самостоятельной работы

Общий объём самостоятельной работы в рамках изучения дисциплины «Охрана труда и электробезопасность» составляет для студентов очной формы обучения - 66 часов, для студентов заочной формы обучения – 181 час.

В структуре самостоятельной работы предусмотрено самостоятельное изучение теоретического материала, подготовка к практическим (лабораторным занятиям), выполнение контрольной работы.

На самостоятельную проработку выносят следующие вопросы *теоретического курса*:

7 семестр: «Характеристика системы «человек – среда обитания». Производственная, городская, бытовая, природная среда. Взаимодействие человека со средой обитания». Срок выполнения - 3 неделя. Форма контроля - устный опрос. «Опасности технических систем, анализ опасностей. Опасность. Классификация опасностей. Источники опасностей, номенклатура опасностей. Квантификация опасностей». Срок выполнения - 8 неделя. Форма контроля - устный опрос. «Примеры воздействия негативных факторов на человека и природную среду». Срок выполнения - 9 неделя. Форма контроля - устный опрос. "Обеспечение комфортных и безопасных условий труда в жизнедеятельности ". Срок выполнения - 10 неделя. Форма контроля - устный опрос. " Управление безопасностью жизнедеятельности: системы управления ". Срок выполнения - 11 неделя. Форма контроля - устный опрос.

8 семестр: «Действие электрического тока на организм человека». Срок выполнения - 3 неделя. Форма контроля - устный опрос. «Виды поражений электрическим током. Электрическое сопротивление тела человека. Влияние значения тока на исход поражения». Срок выполнения - 8 неделя. Форма контроля - устный опрос. «Первая помощь пострадавшим от электрического тока». Срок выполнения - 9 неделя. Форма контроля - устный опрос. " Явления при стекании тока в землю. Распределение потенциала на поверхности земли. Сопротивление заземлителя растеканию тока ". Срок выполнения - 10 неделя. Форма контроля - устный опрос. "Напряжение прикосновения и шага при

групповом заземлителе. ". Срок выполнения - 11 неделя. Форма контроля - устный опрос.

Также рабочей программой дисциплины ««Охрана труда и электробезопасность» предусмотрено выполнение контрольной работы.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенции: УК-8, ПК-3, ПК-5

Примерные темы коллоквиумов:

Явления при стекании тока в землю.

Распределение потенциала на поверхности земли.

Сопротивление заземлителя растеканию тока.

Сопротивление заземлителей растеканию тока и многослойных грунтах.

Стекание тока в землю через групповой заземлитель.

Напряжение прикосновения при групповом заземлителе.

Напряжение шага. Электрическое сопротивление земли.

Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях.

Поражения током в различных электрических сетях, в однофазных и трехфазных сетях, в нормальных и аварийных режимах.

Выбор схемы сети и режима нейтрали.

Защитное заземление. Типы заземляющих устройств.

Выполнение заземляющих устройств.

Расчет защитного заземления. Выбор типа заземлителя.

Защитное зануление. Принцип действия зануления.

Назначение отдельных элементов схемы зануления. Расчет зануления.

Защитное отключение. Назначение, основные элементы, основные требования, область применения УЗО.

Типы УЗО. Устройства, реагирующие на потенциал корпуса. Устройства, реагирующие на ток нулевой последовательности.

Устройства, реагирующие на ток замыкания на землю. Устройства, реагирующие на напряжение нулевой последовательности. Устройства, реагирующие на оперативный ток.

Электрозащитные средств, применяемые в электроустановках.

Классификация защитных средств. Назначение, конструкция и правила применения защитных средств.

Защита от воздействия электрического поля промышленной частоты в электроустановках высокого напряжения. Биологическое действие электромагнитного поля.

Напряженность электрического поля. Гигиенические нормативы. Экранирующий костюм. Экранирующие устройства.

Организация выполнения работ в электроустановках.

Безопасность при пофазном ремонте ВЛЭП. Особенности пофазного ремонта.

Электромагнитное влияние. Меры безопасности при работах под напряжением на ВЛ. Безопасность при работах под напряжением на ВЛ.

Особенности, достоинства, недостатки при работах под напряжением на ВЛ. Принцип, положенный в основу метода работ под напряжением.

Приспособления и порядок выполнения работ под напряжением. Анализ опасности при работе под напряжением. «ПТБ при эксплуатации электроустановок».

Организация подготовки и повышения квалификации эксплуатационного персонала

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенции: ПК-3, ПК-5.

В рамках самостоятельной работы предусмотрена подготовка студента к проведению и защите лабораторных работ, а также самостоятельное решение практических задач.

В рамках изучения дисциплины студент должен выполнить следующие лабораторные работы:

- Действие электрического тока на организм человека;
- Определение электрического сопротивления тела человека на базе LabView;

- Меры защиты человека от поражения электрическим током;
- Изучение устройств защитного отключения;
- Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TT;
- Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления IT;
- Исследование заземления и одиночных заземлителей на базе LABVIEW;
- Исследование сопротивления петли фаза-нуль на базе LABVIEW.
- Анализ электробезопасности сетей типа IT и TN-C на базе LabView;
- Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN-C при заземленных корпусах электроприемников;
- Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN-C при изолированных корпусах электроприемников;
- Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN-S;
- Защита человека от поражения электрическим током в электроустановках с системой заземления TN-C-S;

Для лучшего освоения *практических вопросов*, рассматриваемых на практических занятиях, в разделе самостоятельной работы предусмотрено самостоятельное решение задач. Задачи распределены следующим образом:

- тема - Защитное заземление - 2 задачи
- тема - Защитное зануление - 2 задачи
- тема - Защитное отключение - 2 задачи
- тема - Анализ электробезопасности сетей типа IT и TN-C кВ - 2 задачи
- тема - Явления при стекании тока в землю. Напряжение прикосновения и шага - 2 задачи
- тема - Выбор аппаратов защиты в электроустановках - 2 задачи
- тема - Расчет заземляющего устройства подстанции 110/ 10/кВ - 2 задачи

тема - Статистический метод расчета ЗУ - 2 задачи

тема - Расчет кратности воздухообмена помещения- 2 задачи

тема - Определение уровня шума и звукоизоляции - 2 задачи

тема - Расчет рассеивания холодных выбросов из одиночного источника- 2 задачи

тема - Расчет заземляющего устройства п/ст 10/0,4 кВ - 2 задачи

тема - Расчет заземляющего устройства подстанции 110/ 10/кВ -2 задачи

тема - Статистический метод расчета ЗУ - 2 задачи

тема - Расчет установки искусственного освещения. Светящиеся линии - 2 задачи

тема - Точечный метод. Метод коэффициента использования - 2 задачи

Задачи выдает преподаватель в конце практического занятия согласно графику учебного процесса. Для самостоятельного решения следует использовать литературу в приведенную в РП или ФОС к дисциплине. Форма отчётности – наличие решённых задач, представленных в рукописном виде, правильность выполнения которых проверяет преподаватель и делает соответствующие пометки в журнале.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить компетенции: ПК-3, ПК-5

В таблице 2.1 приведен план график выполнения самостоятельной работы.

Таблица 2.1 – План график выполнения самостоятельной работы

Шифр компетенции	Вид деятельности студентов	Результат самостоятельной работы	Форма контроля	Объем часов ОФО/ЗФО
ПК-10, ПК-20	Изучение тем 1-8 теоретического курса	Конспект	Устный опрос	9/41
ПК-10, ПК-20	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным занятиям)	Отчет по практическому занятию (лабораторному)	Устный опрос	9/48
Итого за 7семестр				18/89

Продолжение таблицы 2.1

ПК-10, ПК-20	Изучение тем 1-5 теоретического курса	Конспект	Устный опрос	9/30
ПК-10, ПК-20	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным занятиям)	Отчет по практическому занятию (лабораторному)	Устный опрос	9/44
ПК-10, ПК-20	Выполнение контрольной работы	Доклад	Устный опрос	18/18
Итого за 8 семестр				48/92

3 Контрольные точки и виды отчетности по ним

Успеваемость студентов по дисциплине оценивается в ходе текущего и промежуточного контроля.

Текущий контроль осуществляется в течение семестра:

- на лабораторных, семинарских, практических занятиях;
- по всем формам самостоятельной работы студентов (коллоквиум, расчетно- графическая работа, контрольная работа, реферат, тестирование)

Промежуточный контроль – это экзамен или зачет по дисциплине в период сессии.

В начале семестра студенческая группа получает график контрольных мероприятий с указанием форм и сроков их проведения, с указанием баллов за каждое контрольное мероприятие.

Контрольные точки по самостоятельной работе приведены в Таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Контрольные точки по самостоятельной работе

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
1.	Защита лабораторных работ	6 неделя/14 неделя	15
2.	Защита отчета по практическим занятиям	6 неделя/14 неделя	15
3.	Собеседование по темам теоретического курса	16 неделя	15
	Итого за 7 семестр		
№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
1.	Защита лабораторных работ	6 неделя/14 неделя	15
2.	Защита отчета по практическим занятиям	6 неделя/14 неделя	15
3.	Защита контрольной работы	12 неделя	10
4.	Собеседование по темам теоретического курса	16 неделя	5
	Итого за 8 семестр		

Проверка подготовки к практическим занятиям (лабораторным занятиям) проводится в форме защиты отчетов по данным виду занятия.

Допуск к защите лабораторных работ происходит при наличии у студентов печатного варианта отчета. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

Максимальное количество баллов студент получает, если оформление отчета соответствует установленным требованиям, студент может правильно ответить на два контрольных вопроса, а отчет полностью раскрывает суть работы. Основанием для снижения оценки являются:

- Неполное выполнение задания по лабораторной работе
- Некорректность результатов и выводов
- Затруднение в ответах на контрольные вопросы по лабораторной работе

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- Оформление не соответствует действующим требованиям
- Нет необходимых экспериментальных и расчетных данных

Критерии оценивания решенных задач, подготовленного отчета, контрольной работы и конспекта приведены в Фонде оценочных средств по дисциплине техника высоких напряжений.

В результате выполнения практических занятий студент должен отвечать на заданные контрольные вопросы и уметь выполнять практические задания.

Максимальное количество баллов студент получает, если оформление ответов и заданий соответствует установленным требованиям, задания выполнены правильно и в полном объеме. Основанием для снижения оценки являются:

- Неполное выполнение задания по практике
- Некорректность результатов
- Неполные ответы на контрольные вопросы по практическим занятиям

Защита контрольной работы может проводиться на выделенном одном занятии в рамках часов учебной дисциплины или конференции или по одному реферату при изучении соответствующей темы, либо по договоренности с преподавателем.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко изучил научную и учебную литературу, творчески изложил этот материал, аргументировал основные положения темы, сделал самостоятельные выводы, увязал теорию с практикой, сформулировав конкретные рекомендации для совершенствования механизмов деятельности. При устном собеседовании с научным руководителем неточностей нет.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если работа выполнена на высоком теоретическом уровне, но недостаточно элементов самостоятельного творческого усвоения материала, не хватает в достаточной мере связи с практикой, допускаются неточности в устном ответе, не в полном объеме выполнены требования к оформлению.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если верно освещены основные разделы темы, но не прослеживается в достаточной мере самостоятельность в изложении проблем, не хватает умения логично, системно формулировать свои мысли, имеются неточности при устном ответе, не в полном объёме выполнены требования к оформлению реферата.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если работа не выполнена, не раскрыта суть проблемы.

4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Большая часть самостоятельной работы студента состоит в **изучении литературы**. Одна из задач студента – научиться самостоятельно работать с книгой, а это требует определенных затрат энергии и времени. Поэтому надо научиться делать эту работу рационально, то есть необходимо учиться читать.

Как работать с учебной и научной книгой

Методы эффективной работы с книгой в целях развития интеллекта можно условно разделить на две группы:

1. Правильная организация процесса чтения
2. Повышение скорости чтения и восприятия.

В комплексе оба метода могут в 2-3 раза сократить время прочтения различных материалов.

При чтении текста мозг формирует «свою трактовку содержания» прочитанного. Происходит перекодирование сообщения на языке собственных мыслей читателя. Мозг выделяет «ядерное», сущностное значение из текста. Эффективность такой перекодировки зависит от осмысления и внимательности чтения.

Как показали эксперименты, знание и умелое применение некоторых упражнений дают возможность извлекать «ядерное» значение в тексте быстро и надежно. Эти упражнения основаны на использовании дифференциального алгоритма чтения. Центральное место в этом алгоритме занимает «блок доминанта». Это слово в переводе с латинского языка означает «господствующий, основной, главный». Что же такое доминанта применительно к тексту?

Доминанта – главная смысловая часть текста. Она выражается своими словами, на языке собственных мыслей, является результатом переработки текста, его осмысления в соответствии с индивидуальными особенностями читателя, выявления основного замысла автора.

Дифференциальный алгоритм чтения в соответствии с блоками позволяет реализовать логико-семантический анализ текста: вначале выделить ключевые слова, затем построить смысловые ряды и, наконец, выделив цепь знаний, сформулировать доминанту. Именно так и только так (по О.А. Андрееву) можно увидеть главное, действительно, проникнуть в суть вещей, явлений, излагаемых автором.

Возможны три основных способа чтения.

- Первый способ – артикуляция или проговаривание вслух (или почти вслух) того, что читаешь. Скорость такого чтения невелика.

- Второй способ – чтение про себя, при котором речевой процесс проявлен в форме внутренней речи, то есть без открытой артикуляции. Текст, при этом усваивается более эффективно. Способ в принципе допускает быстрое чтение.

- Третий, наиболее совершенный способ чтения – тоже молча, но в условиях максимального сжатия внутренней речи, при котором она проявляется в виде коротких залпов ключевых слов и смысловых рядов, адекватно отражающих смысл текста.

Итак, артикуляция замедляет процесс чтения и от нее необходимо избавиться. Однако не приведет ли сокращение артикуляции при повышении скорости чтения к снижению качества восприятия и осмысления полученной информации?

Как показали исследования психологов, иногда при чтении слова могут быть заменены наглядными представлениями, пространственными схемами. Целые группы слов – одним словом.

Быстро читающие люди обладают способностью, не проговаривая читаемый текст, сразу улавливать и фиксировать замысел автора, а затем усваивать его на уровне внутренней речи. В этом случае, несмотря на высокую скорость чтения, происходит глубокое понимание и усвоение прочитанного, так как основная идея понятна с самого начала. Задачу научиться такому чтению можно решать в два этапа. Первый предполагает сокращение

артикуляции, если она ярко выражена, второй – овладение приемами чтения, при которых текст воспринимается крупными информационными блоками.

Перед углубленным чтением любого текста (статьи, книги, конспекта, лекции перед экзаменом) сначала бегло просмотрите его целиком. При этом постарайтесь выявить основные стержневые идеи, наиболее крупные части и логику их изложения. Лишь после такого просмотра переходите к более детальному чтению.

Перед чтением статьи или параграфа учебника попробуйте проделать следующее: прочитайте внимательно первый абзац, потом бегло просмотрите первые или последние фразы следующих абзацев (в них обычно содержится основная информация), обратите внимание на курсивы, разрядки, подзаголовочный текст и, наконец, внимательно прочтите один-два последних абзаца; постарайтесь выявить основное направление текста и его построение.

Прочитав в тексте интересную идею, полезно остановить свое внимание на ней, прислушаться к тем мыслям, которые она у вас вызвала, подумать о тех последствиях, которые из нее вытекают, попытаться развивать ее дальше.

Существенно замедляют чтение регрессии – частые возвратные движения глаз, многократное повторное прочитывание материала. Возвратиться к уже прочитанному, но недостаточно хорошо понятому участку лучше всего, когда прочитан законченный смысловой фрагмент текста и сделана хотя бы попытка его осмысления, а не в процессе чтения предложения.

Любой текст не однороден по своей информационной насыщенности. В некоторых предложениях, абзацах сконцентрировано очень много информации, например, формулируются основные положения, ведущие идеи и т.д., а другие служат лишь иллюстрацией, фоном. Таким образом, текст имеет «смысловой рельеф». Чем точнее читатель умеет определить степень важности каждого отрезка текста и приспособить к «смысловому барьеру» способ своего чтения (то есть замедлить и углубить в более важных местах и

ускорять в менее важных), тем продуктивнее чтение. Постарайтесь гибко варьировать способ работы с текстом в соответствии с его «смысловым барьером».

Чтобы чтение было эффективным, попробуйте по прочитанному всегда отвечать на 6 вопросов: *«Кто делает? Что делает? Когда? Почему? Где? Как?»*

Формы ведения записей

Самостоятельная работа с книгой может быть успешной, если текст не только прочитан, но и законспектирован. Существует несколько **форм записей**, но любая форма записи не даст нужного результата, если не будет пробуждать мысли того, кто ее ведет, если отсутствует активная работа ума и формирование своих выводов из прочитанного.

Выбор формы записи зависит от индивидуальных особенностей человека, его образованности и опыта. При этом не меньшую роль играет назначение записей, то есть то, какие задачи ставит перед собой человек (для самообразования, для выступления на семинаре, для использования в будущем).

Введение записей мобилизует наряду со зрительной памятью, также и моторную память. Кроме того, у человека, систематически ведущего записи изучаемой литературы, создается свой фонд материалов для быстрого повторения и мобилизации накопленных знаний.

Все записи должны быть убористыми и компактными. Интервалы между строками должны быть достаточными, чтобы вписывать дополнения. Рекомендуется вести записи ручкой, а карандашом или ручкой другого цвета пользоваться для отметок и выделений при последующей работе. Полезно также датировать записи.

Записи могут носить различный характер: план, выписки, тезисы, аннотирование, конспектирование, реферирование.

1. План - наиболее краткая формой записи.. Это перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. План обычно раскрывает структуру произведения, логику автора, способствует лучшей ориентации в содержании.

Так, составленным планом можно воспользоваться, чтобы вспомнить прочитанное или быстро отыскать в книге нужное место. Представление об основных пунктах плана дает оглавление книги, поэтому во многих случаях наименования глав и разделов можно использовать в качестве пунктов. Составление плана приучает логически мыслить, вырабатывать умение сжато и последовательно излагать суть вопроса в письменной и устной форме.

Существует два способа составления плана: работа над ним по ходу чтения и составление плана после ознакомления с произведением. При этом план получается более последовательным и стройным.

Трудность составления плана состоит в том, что надо выяснить для себя, прежде всего, построение изучаемого текста, ход мыслей автора и лишь затем изложить содержание работы кратко и ясно. При всей своей краткости план дает представление о содержании прочитанного. Следует учесть, что форма плана не исключает цитирования отдельных мет и обобщений. Различают простой и развернутый план. В отличие от простого плана развернутый план не только содержит перечисление вопросов, но и раскрывает основные идей произведения, может включать выдержки из него, схемы, таблицы. Планом, особенно развернутым, необходимо пользоваться при написании выступления или статьи.

В целом развернутый план дает гораздо большее представление о произведении, его основных идеях, задачах, которые в нем решаются. Он может включать положения, замечания, собственные мысли студента.

Важно знать, что составление планов помогает вырабатывать способность к отвлеченному, абстрактному мышлению, но наибольшую пользу составление плана даст подготовленным лицам, которые бывают достаточно лишь взглянуть на перечень основных вопросов, чтобы воспроизвести содержание прочитанного.

2. Тезисы – более сложная и совершенная форма записи, чем составление плана.

Это сжатое изложение основных мыслей прочитанного произведения или подготовляемого вступления. Особенностью тезисов является их утвердительный характер.

В них сосредотачивается самое главное, только выводы и обобщения, в них меньше доказательств, иллюстрации и пояснений. Тезисы не должны повторять дословно текст, но в ряде мест могут быть близки к нему, воспроизводя некоторые характерные выражения автора, важные для понимания хода его мыслей. Составление тезисов помогает глубже понять основные идеи произведения, выделить главное в нем; приучают сжато, точно и четко сформулировать свои мысли, повышает культуру речи и письма. При составлении тезисов учитывают следующее. Прежде всего, если произведение небольшое, необходимо внимательно изучать его в целом, если большое – изучать по главам и разделам. Затем, когда будут ясны основные идеи, кратко и последовательно излагать их в виде пунктов.

Различают простые и сложные, развернутые тезисы. Если записывают только утверждение чего – либо, такой тезис называют простым, а сложным тезисом будет выражение главной мысли, содержащее, кроме утверждения, еще и краткое ее доказательство.

Часто тезисы формулируются самим автором как выводы и обобщения в заключении книги или разделах книги. Нередко тезисы выделяются в тексте другим шрифтом.

Рекомендуется делать тезисные записи своими словами, причем можно записывать один абзац за другим, учитывая смысловую связь между ними. Но в большинстве случаев следует составлять сводный тезис, сложный по форме. При этом объединяется несколько утверждений, тесно связанных между собой.

Тезисы по содержанию очень близки к **конспекту**, но конспект носит более описательный характер, и его положения не столь категоричны, как в

тезисах. Кроме того, конспект представляет собой более полную форму записи.

Следует отметить, что различие между формами записей условно, но в любой форме запись – важнейшая часть самостоятельной работы с книгой.

3. Выписки. Это записи текста из книги: теоретических положений, статистических данных, имеющих по мнению читателя важное значение.

Достоинство выписок состоит в точности воспроизведения текста книги, удобстве пользования записями при последующей работе, в накоплении обобщений и фактического материала. Выписки полезны для повторения, освежения в памяти прочитанного, для быстрой мобилизации своих знаний, когда необходимо в короткий срок вспомнить материал. Выписки выделяют из текста самое главное и тем самым помогают глубже понять его. Без них трудно обойтись при подготовке доклада, реферата, выступления. Выписки следует рассматривать как составную часть тезисов и конспектов.

Выписывать текст можно и по ходу чтения и после его завершения. В последнем случае надо замечать места, которые потом будут выписаны. Необходимо каждую выписку снабжать ссылкой на источник с указанием соответствующей страницы. Это нужно, чтобы в последствии можно было быстро найти в книге соответствующее место. Целесообразно выписывать из текста только такие места, в которых содержится самое главное, суть вопроса. Выписки должны быть ориентированы на изучение произведения в целом, а не отдельных мест, поскольку положения, вырванные из общего контакта, понимаются нередко совсем не так, как этого хотел автор. Иначе говоря, отдельно взятые, лишенные пояснений выдержки могут быть не поняты или поняты неправильно.

Выписки бывают дословные (цитаты) и «свободные», когда мысли автора излагаются своими словами. Следует учесть, что большие отрывки, которые трудно цитировать, целесообразнее в краткой форме переложить своими словами, но «яркие» и важные места лучше выписывать дословно. Каждую цитату следует заключать в кавычки. Если ее берут из середины

предложения, то после вводных кавычек ставят три точки. Ставят их и в конце цитаты, если из предложения опущены последние слова.

Следует знать, что какого-либо единого метода выписок, годного для всех случаев, не существует, поскольку у каждого человека свои особенности мышления и восприятия, свой подход к теме. Все это влияет на содержание и характер выписок.

Выписки рекомендуется хранить в картотеке, конвертах или папках, на которых следует обозначить общую тему.

4. Аннотация – еще одна форма записи, являющаяся кратким обобщением содержания книги. Ею удобно пользоваться, если имеется намерение вернуться к изучаемому произведению. Аннотация может быть необходима и для того, чтобы не забыть о нем.

Для составления аннотации надо сначала полностью прочитать и глубоко продумать произведение. При всей своей краткости аннотация может содержать отдельные фрагменты авторского текста, а не только оценку книги или статьи.

5. Резюме очень близко к аннотации. Это запись, являющаяся краткой оценкой прочитанного материала. Различие между ними состоит в том, что аннотация сжато характеризует произведение в целом, а резюме концентрирует внимание на его выводах, главных итогах.

6. Конспект – наиболее совершенная и наиболее сложная форма записи. Слово «конспект» происходит от латинского «conspectus», что означает «обзор, изложение». В правильно составленном конспекте обычно выделено самое основное в изучаемом тексте, сосредоточено внимание на наиболее существенном, в кратких и четких формулировках обобщены важные теоретические положения.

Конспект представляет собой относительно подробное, последовательное изложение содержания прочитанного. На первых порах целесообразно в записях ближе держаться тексту, прибегая зачастую к

прямому цитированию автора. В дальнейшем, по мере выработки навыков конспектирования, записи будут носить более свободный и сжатый характер.

Конспект книги обычно ведется в тетради. В самом начале конспекта указывается фамилия автора, полное название произведения, издательство, год и место издания. При цитировании обязательная ссылка на страницу книги. Если цитата взята из собрания сочинений, то необходимо указать соответствующий том. Следует помнить, что четкая ссылка на источник – неременное правило конспектирования. Если конспектируется статья, то указывается, где и когда она была напечатана.

Конспект подразделяется на части в соответствии с заранее продуманным планом. Пункты плана записываются в тексте или на полях конспекта. Писать его рекомендуется четко и разборчиво, так как небрежная запись с течением времени становится малопонятной для ее автора. Существует правило: конспект, составленный для себя, должен быть по возможности написан так, чтобы его легко прочитал и кто-либо другой.

Формы конспекта могут быть разными и зависят от его целевого назначения (изучение материала в целом или под определенным углом зрения, подготовка к докладу, выступлению на занятии и т.д.), а также от характера произведения (монография, статья, документ и т.п.). Если речь идет просто об изложении содержания работы, текст конспекта может быть сплошным, с выделением особо важных положений подчеркиванием или различными значками.

В случае, когда не ограничиваются переложением содержания, а фиксируют в конспекте и свои собственные суждения по данному вопросу или дополняют конспект соответствующими материалами их других источников, следует отводить место для такого рода записей. Рекомендуется разделить страницы тетради пополам по вертикали и в левой части вести конспект произведения, а в правой свои дополнительные записи, совмещая их по содержанию.

Конспектирование в большей мере, чем другие виды записей, помогает вырабатывать навыки правильного изложения в письменной форме важные теоретических и практических вопросов, умение четко их формулировать и ясно излагать своими словами.

Таким образом, составление конспекта требует вдумчивой работы, затраты времени и труда. Зато во время конспектирования приобретаются знания, создается фонд записей.

Конспект может быть текстуальным или тематическим. В **текстуальном конспекте** сохраняется логика и структура изучаемого произведения, а запись ведется в соответствии с расположением материала в книге. За основу тематического конспекта берется не план произведения, а содержание какой-либо темы или проблемы.

Текстуальный конспект желательно начинать после того, как вся книга прочитана и продумана, но это, к сожалению, не всегда возможно. В первую очередь необходимо составить план произведения письменно или мысленно, поскольку в соответствии с этим планом строится дальнейшая работа. Конспект включает в себя тезисы, которые составляют его основу. Но, в отличие от тезисов, конспект содержит краткую запись не только выводов, но и доказательств, вплоть до фактического материала. Иначе говоря, конспект – это расширенные тезисы, дополненные рассуждениями и доказательствами, мыслями и соображениями составителя записи.

Как правило, конспект включает в себя и выписки, но в него могут войти отдельные места, цитируемые дословно, а также факты, примеры, цифры, таблицы и схемы, взятые из книги. Следует помнить, что работа над конспектом только тогда будет творческой, когда она не ограничена текстом изучаемого произведения. Нужно дополнять конспект данными из другими источниками.

В конспекте необходимо выделять отдельные места текста в зависимости от их значимости. Можно пользоваться различными способами: подчеркиваниями, вопросительными и восклицательными знаками,

репликами, краткими оценками, писать на полях своих конспектов слова: «важно», «очень важно», «верно», «характерно».

В конспект могут помещаться диаграммы, схемы, таблицы, которые придадут ему наглядность.

Составлению **тематического конспекта** предшествует тщательное изучение всей литературы, подобранной для раскрытия данной темы. Бывает, что какая-либо тема рассматривается в нескольких главах или в разных местах книги. А в конспекте весь материал, относящийся к теме, будет сосредоточен в одном месте. В плане конспекта рекомендуется делать пометки, к каким источникам (вплоть до страницы) придется обратиться для раскрытия вопросов. Тематический конспект составляется обычно для того, чтобы глубже изучить определенный вопрос, подготовиться к докладу, лекции или выступлению на семинарском занятии. Такой конспект по содержанию приближается к реферату, докладу по избранной теме, особенно если включает и собственный вклад в изучение проблемы.

Следующим методом самостоятельной работы с книгой является **реферирование** на определенную тему. Слово реферат употребляется в двух различных значениях:

1. Краткое изложение содержания книги, научной работы;
2. Доклад за заданную тему на основе критического образа литературных источников.

7. Реферат – это один из самых сложных видов самостоятельной работы с книгой, а для этого следует овладеть более простыми приемами работы – разработкой плана, составлением тезисов и конспектов. Подготовка реферата и выступление с его изложением углубляет знания, расширяет кругозор, приучает логически, творчески мыслить, развивать культуру речи.

При просмотре литературы намечается ориентировочный план реферата, в который включается обычно 3-4 основных вопроса или раздела. Каждом из разделов формулируются подвопросы, помогающие последовательно раскрыть содержание проблемы.

В процессе изучения материала формулировки подвопросов и разделов обычно уточняются. При реферировании следует делать выписки, записывать мысли, возникающие при чтении; следует также точно записывать и определения тех понятий, которые будут использованы в реферате. Из прочитанной литературы нужно заимствовать не буквальный текст, а важнейшие мысли, идеи, теоретические положения; можно цитировать небольшие отрывки, приводить диаграммы, схемы, чертежи, но главное – высказывать собственные соображения по вопросам реферата. Приведенные выше советы следует рассматривать как примерные, предполагающие и другие подходы, поскольку у каждого человека вырабатываются свои приемы и навыки составления рефератов. Большую помощь в работе над рефератом оказывают предисловия к монографиям и сборникам. В них можно найти сведения о цели издания, а также о существующих пробелах в исследовании.

При разработке плана реферата важно учитывать, чтобы каждый его пункт раскрывал одну из сторон избранной темы, а все пункты в совокупности охватывали тему целиком. Различают несколько композиционных решений реферата: во-первых, хронологическое, когда тема раскрывается в исторической последовательности; во-вторых, описательное, при котором тема расчленяется на составные части, в целом раскрывающие определенное явление; в-третьих, аналитическое, когда тема исследуется в ее причинно-следственных связях и взаимозависимых проблемах. Важно следить за тем, чтобы каждый пункт плана был соотнесен с главной темой и не содержал повторения в других пунктах. Важными разделами реферата является вступление и заключение. Во вступлении надо обосновать актуальность темы, обозначить круг составляющих ее проблем, четко и кратко определить задачу своей работы. В заключении делаются краткие выводы, подводятся итоги. В конце реферата должен быть приложен список литературы.

В отличие от тематического конспекта реферат требует большей творческой активности, самостоятельности в обобщении изученной литературы, умения логически стройно изложить материал, оценить

различные точки зрения на исследуемую проблему и высказать о ней собственное мнение. В реферате важно связать теоретические положения с практикой.

Итак, реферат – это самостоятельное произведение автора, которое должно свидетельствовать о знании литературы по данной теме, ее основной проблематике, отражать точку зрения автора реферата на эту проблематику, его умение осмысливать явления жизни на основе теоретических знаний.

При оценке реферата обычно руководствуются следующими критериями:

1. Удалось ли его автору раскрыть сущность данной проблемы;
2. Сумел ли автор показать связь рассматриваемой проблемы с жизнью;
3. Проявил ли автор самостоятельность и творческий подход в изложении реферата;
4. Можно ли считать реферат логически стройным и т.д.

Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

Контрольная работа является важнейшим элементом самостоятельной работы студентов. Основной целью контрольной работы является получение будущим специалистом практических навыков по решению комплексных задач, возникающих в практической деятельности, а также создание и развитие навыков исследовательской работы, умения работать с научной литературой, делать на основе ее изучения выводы и обобщения,

Основными задачами контрольной работы являются:

- 1) овладение первичными навыками ведения исследовательской работы; развитие творческих способностей индивидуально для каждого студента;
- 2) подготовка студента к выполнению выпускной-квалификационной работы;
- 3) усвоение методов грамотного ведения, оформления и редактирования деловой переписки, а также выполнения практической аналитической работы.

Умение вести исследование – подбирать, анализировать, обобщать материал, системно излагать его научным стилем, обосновывать выводы, оформлять работу – отличает специалиста с высшим образованием. Курсовые работы последовательно готовят выпускника, наращивая владение элементами исследовательской работы. Среди других форм развития творческого потенциала студентов – рефераты, эссе, научные доклады на студенческой научной конференции и др. В соответствии с целью и задачами назначение курсовой работы в учебном процессе конкретизируются в овладении студентами следующих знаний и навыков:

- а) работа с библиографией: пользование каталогами и справочной литературой, статистическими и инструктивными материалами;
- б) разработки плана работы;
- в) понимания и грамотного написания введения к любой исследовательской работе;
- г) методики и стиля изложения материалов работы;

д) редакционного оформления работы в соответствии с общеустановленными требованиями;

е) написание заключения, уяснение его назначения в работе;

ж) составление списка использованной литературы;

и) назначение приложений и их оформление.

Безусловно, овладение этими знаниями должно происходить постепенно, от курса к курсу, от предыдущей работы к каждой последующей круг требований должен расширяться, а их уровень возрастать.

Обязательным является наличие табличных, цифровых и графических данных; проблемно-поисковый характер работы, овладение методами доказательности приводимого материала, обоснование своей точки зрения и путей решения проблем.

Работа над контрольной работой не должна откладываться на последние дни. Относиться к ней надлежит со всей ответственностью и добросовестностью. Только систематический, правильно спланированный и организованный труд позволит добиться хорошего результата точно к установленному сроку

Методические указания по подготовке к семинарским (практическим, лабораторным) занятиям

Семинарские занятия проводятся в форме дискуссии, на которых проходит обсуждение конкретных экономических ситуаций. Обсуждения направлены на освоение научных основ, эффективных методов и приемов решения конкретных практических задач, на развитие способностей к творческому использованию получаемых знаний и навыков. Основная цель проведения семинара заключается в закреплении знаний полученных в ходе прослушивания лекционного материала. Семинар проводится в форме устного опроса студентов по вопросам семинарских занятий, а также в виде решения практических задач или моделирования практической ситуации. В ходе подготовки к семинару студенту следует просмотреть материалы лекции, а затем начать изучение учебной литературы. Следует знать, что освещение того

или иного вопроса в литературе часто является личным мнением автора, построенного на анализе различных источников, поэтому следует не ограничиваться одним учебником или монографией, а рассмотреть как можно больше материала по интересующей теме.

В ходе самостоятельной работы студенту необходимо отслеживать научные статьи в специализированных изданиях.

Студенту рекомендуется следующая схема подготовки к семинарскому занятию:

1. Проработать конспект лекций;
2. Прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную по изучаемому разделу;
3. Ответить на вопросы плана семинарского занятия;
4. Выполнить домашнее задание;
5. Проработать тестовые задания и задачи;
6. При затруднениях сформулировать вопросы к преподавателю.

При подготовке к семинарским занятиям следует руководствоваться указаниями и рекомендациями преподавателя, использовать основную литературу из представленного им списка. Для наиболее глубокого освоения дисциплины рекомендуется изучать литературу, обозначенную как «дополнительная» в представленном списке. При подготовке доклада на семинарское занятие желательно заранее обсудить с преподавателем перечень используемой литературы, за день до семинарского занятия предупредить о необходимых для предоставления материала технических средствах, напечатанный текст доклада предоставить преподавателю

В рамках самостоятельной работы предусмотрена подготовка студента к проведению и защите лабораторных работ, а также самостоятельное решение практических задач.

Лабораторные занятия позволяют интегрировать теоретические знания и формировать практические умения и навыки студентов в процессе учебной деятельности.

Цели лабораторных/практических занятий по дисциплине «Охрана труда и электробезопасность»

1. закрепление теоретического материала путем систематического контроля за самостоятельной работой студентов;
2. формирование умений использования теоретических знаний в процессе выполнения лабораторных работ;
3. развитие аналитического мышления путем обобщения результатов лабораторных работ;
4. формирование навыков оформления результатов лабораторных/практических работ в виде таблиц, графиков, выводов.

На лабораторных занятиях осуществляются следующие формы работ со студентами: *индивидуальная* (оценка знаний, выполненных тестовых заданий, проверка рабочих тетрадей); *групповая* (выполнение заданий малыми группами по 2-4 человека); *фронтальная* (подведение итогов выполнения лабораторных работ, подведение итогов выполнения теста).

Методические указания по подготовке к экзамену (зачету)

Готовиться к экзамену (зачету) необходимо в течение всего учебного времени, т.е. с первого дня очередного семестра: вся работа студента на лекциях, семинарских занятиях, консультациях, а также написание рефератов и выполнение курсовых работ и т.п. - это и есть этапы подготовки студента к зачетам и экзаменам. Подготовка к сессии должна быть нацелена не столько на приобретение новых знаний, сколько на закрепление ранее изученного материала и повторение его. Сумму полученных знаний студенту перед сессией надо разумно обобщить, привести в систему, закрепить в памяти, для чего ему надо использовать учебники, лекции, консультации, курсовые работы, рефераты и т.п., а также методические пособия и различного рода руководства. Повторение необходимо производить по разделам, темам.

Методика подготовки к сдаче зачета и экзамена одинакова и состоит из двух взаимосвязанных этапов.

1. Регулярное посещение всех учебных занятий в течение всего семестра: лекций, семинарских занятий, консультаций и т.п., а также активное изучение рекомендованной литературы, отработка (в случае необходимости) в установленные сроки всех пропущенных учебных занятий.

2. Непосредственная подготовка к зачету и экзамену, когда студенту нужно в короткий срок (2-4 дня) охватить весь изученный материал по предмету и успешно сдать экзамен (зачет). А для того, чтобы это успешно сделать, студент, в первую очередь, должен мысленно в спокойной обстановке вспомнить весь материал, изученный за семестр, с тем, чтобы выявить разделы курса (предмета) слабо изученные или плохо понятые при первоначальном изучении с целью устранения пробелов в своих знаниях. Для успешной подготовки к экзаменам студенту необходимо составить себе своеобразный рабочий график, в котором отразился бы последовательный переход от темы к теме, от раздела к разделу. Во время подготовки к экзаменам могут появиться вопросы. Их нужно записать и получить ответ на предэкзаменационных консультациях. На консультациях преподаватель интересуется, как студентами изучены темы, пройденные в учебном процессе, при необходимости он разъясняет отдельные вопросы этих тем. Иногда преподаватель делает сжатый обзор важнейших тем курса, отмечает те вопросы, на которые студенты, ранее сдававшие экзамен, отвечали плохо. Во время подготовки к экзамену студенту необходимо просмотреть и собственные конспекты прослушанных лекций и самостоятельно проработанных тем семинарских занятий. Это позволит ему восстановить в памяти ранее изученные положения, выявить пробелы в своих знаниях и восполнить их из других источников. Значение предэкзаменационных консультаций очень велико. Они призваны: 1) помочь устранить пробелы в знаниях; 2) помочь систематизировать весь ранее изученный материал; 3) информировать студентов о новейших сведениях по тому предмету, который изучен последним.

Экзамен проводится в форме устного опроса.

Вопросы к экзамену:

1. Предмет, цель и содержание дисциплины. Основные задачи курса.
2. Характеристика системы «человек – среда обитания».
3. Производственная, городская, бытовая, природная среда.
4. Взаимодействие человека со средой обитания.
5. Негативные воздействия естественного, антропогенного и техногенного происхождения.
6. Примеры воздействия негативных факторов на человека и природную среду.
7. Роль современного специалиста в обеспечении безопасности жизнедеятельности, в рациональном природопользовании, в предупреждении чрезвычайных ситуаций, быстрой и эффективной ликвидации их последствий.
8. Понятие, декомпозиция и элементы среды.
9. Феномены опасности. Признаки опасности.
10. Априорные (предвестники) и апостериорные (последствия) признаки опасности.
11. Классификация опасностей. Понятия о номенклатуре опасностей.
12. Классификация основных форм деятельности человека. Физический и умственный труд.
13. Тяжесть и напряженность труда. Статистические и динамические усилия. Мышечная работа.
14. Методы оценки тяжести труда. Энергетические затраты человека при различных видах деятельности.
15. Гигиеническое нормирование параметров микроклимата производственных помещений.
16. Системы обеспечения параметров микроклимата и состава воздуха: отопление вентиляция, кондиционирование, устройство и требования к ним.

- 17 Влияние отклонения параметров производственного микроклимата от нормативных значений на производительность труда и состояния здоровья, профессиональные заболевания.
- 18 Адаптация и акклиматизация в условиях перегревания и охлаждения.
- 19 Повышенное и пониженное атмосферное давление, действие на организм человека, профилактика, производственный травматизм.
- 20 Эргономика и инженерная психология. Рациональная организация рабочего места, техническая эстетика, требования к производственным помещениям.
- 21 Режимы труда и отдыха, основные пути снижения утомления и монотонности труда. Особенности труда женщин и подростков.
- 22 Освещение. Требования к системам освещения. Естественное и искусственное освещение. Нормирование производственного освещения.
- 23 Светильники, источники света. Расчет освещения.
- 24 Профессиональные заболевания и производственный травматизм при несоблюдении требований к освещению.
- 25 Требования к естественному и искусственному освещению помещений и территорий.
- 26 Температура, влажность и подвижность воздуха.
- 27 Шум и вибрация, городской транспорт.
- 28 Ионизирующее излучение, разрушение озонового слоя, фотохимический смог, парниковый эффект, кислотные дожди, загрязнение земель.
- 29 Показатели негативности техносферы.
- 30 Предельно допустимая концентрация вредных веществ.
- 31 Предельно допустимый сброс и выброс.
- 32 Предельно допустимая экологическая нагрузка, предельно допустимая интенсивность потоков энергии, биологическая и химическая потребность в кислороде.

- 33 Несчастный случай, ЧП, отказ, инцидент, опасность, источник опасности, повреждающий фактор, опасная зона, ущерб.
- 34 Вычисление вероятности ЧП (карта Карно).
- 35 Качественный и количественный анализ опасностей.
- 36 Средства снижения травмоопасности и вредного воздействия технических систем.
- 37 Безопасность функционирования автоматизированных и роботизированных производств.
- 38 Профессиональный отбор операторов технических систем.
- 39 Экономические последствия и материальные затраты на обеспечение безопасности жизнедеятельности.
- 40 Международное сотрудничество в области безопасности жизнедеятельности.
- 41 Взрывозащита технологического оборудования.
- 42 Защита от механического воздействия (предохранительные защитные средства, тормозные и оградительные устройства).
- 43 Средства автоматического контроля и сигнализации.
- 44 Средства электробезопасности. Средства защиты от статического электричества.
- 45 Учет требований безопасности при подготовке производства. Контроль требований безопасности на заводах-изготовителях машин и оборудования.
- 46 Испытания, проверка соответствия оборудования требованиям безопасности перед началом его эксплуатации.
- 47 Освидетельствование и испытание компрессоров, систем газоснабжения, отопления вентиляции, систем под давлением.
- 48 Аппараты и системы очистки выбросов. Устройства для улавливания пыли, токсичных газов и паров, принципиальные схемы, рекомендации по использованию. Расчет и конструирование систем и аппаратов.

- 49 Рассеивание выбросов в атмосфере, санитарно-защитные зоны.
- 50 Защитные экраны. Принципы реализации защитных функций, поглощение, отражение и рассеивание энергии механических, акустических и электромагнитных волн.
- 51 Экранирование источников ионизирующих излучений. Выбор и эксплуатация экранов для защиты от шума, инфра- и ультразвука, инфракрасных, ВЧ, ИК, и лазерных излучений.
- 52 Образование зон заражения при ядерных взрывах. Закон спада уровней радиации на зараженной местности. Определение доз при пересечении следа.
- 53 Образование зон радиоактивного заражения при авариях на атомных предприятиях. Снижение уровня радиации на местности.
- 54 Принципы прогнозирования зон радиоактивного заражения и оценки радиационной обстановки (решение задач).
- 55 Поражение людей в зоне радиоактивного заражения, поражающие и допустимые дозы. Величина ПДК в воздухе, воде, продуктах. Приборы радиационной разведки и радиационного контроля.
- 56 Защита от поражения в зонах радиоактивного заражения (при взрывах и авариях).
- 57 Государственный санитарно-эпидемиологический надзор. Госэнергонадзор. Государственный пожарный надзор. Госгортехнадзор. Госатомнадзор. Экологическая экспертиза. Экспертиза безопасности.
- 58 Положение о расследовании и учете несчастных случаев на производстве.
- 59 Источники финансирования природоохранной деятельности (бюджетные и внебюджетные фонды).
- 60 Основные понятия и определения, классификация чрезвычайных ситуаций и объектов экономики по потенциальной опасности.
- 61 Поражающие факторы источников чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

62 Фазы развития чрезвычайных ситуаций. ЧС, вызванные пожарами, ЧС, вызванные взрывами, химические ЧС.

63 Характеристика поражающих факторов источников чрезвычайных ситуаций природного характера.

64 Классификация стихийных бедствий.

65 Методика расчета возможных разрушений зданий и сооружений при чрезвычайных ситуациях природного характера.

66 Защита от терроризма на объектах экономики. Источники, виды и масштабы терроризма.

67 Методы и способы защиты от террористических актов в условиях производства, в быту и в городских условиях.

68 Поражающие факторы чрезвычайных ситуаций военного времени.

69 Виды оружия массового поражения, их особенности и последствия его применения.

70 Классификация пожаров и промышленных объектов по пожаробезопасности.

71 Тушение пожаров, принципы прекращения горения.

72 Огнетушащие вещества, технические средства пожаротушения.

Вопросы к зачету:

1. Особенности действия тока на живую ткань.
2. Виды электрических травм.
3. Механизм смерти от электрического тока.
4. Электрическое сопротивление тела человека.
5. Характер воздействия на человека токов разного значения.
6. Влияние тока на исход поражения.
7. Влияние индивидуальных свойств человека на исход поражения.
8. Освобождение человека от действия тока.
9. Правила проведения искусственного дыхания.

10. Правила проведения массажа сердца.
11. Распределение потенциала на поверхности земли.
12. Сопротивление заземлителя растеканию тока.
13. Стеkanie тока в землю через групповой заземлитель.
14. Напряжение прикосновения.
15. Напряжение шага.
16. Анализ поражения током в однофазной сети изолированной от земли.
17. То же с заземленным проводом.
18. То же в трехфазной четырехпроводной сети с нейтралью, заземленной через активные и реактивные сопротивления.
19. Что такое защитное и рабочее заземления.
20. Типы заземляющих устройств.
21. Виды заземлителей.
22. Заземляющие проводники.
23. Порядок расчета защитного заземления.
24. Принцип действия зануления.
25. Повторное заземление нулевого провода.
26. Расчет зануления.
27. Основные требования, предъявляемые к УЗО.
28. Принцип действия УЗО, реагирующих на потенциал корпуса.
29. То же, реагирующих на ток замыкания на землю.
30. То же, реагирующих на напряжение нулевой последовательности.
31. То же, реагирующих на ток нулевой последовательности.
32. То же, реагирующих на оперативный ток.
33. Основные и дополнительные электротехнические защитные средства в электроустановках до и выше 1000 В.
34. Изолирующие штанги, их назначение, конструкция и правила применения.
35. Указатели напряжения, их назначение, принцип действия и правила применения.

36. Напряженность электрического поля в электроустановках сверхвысокого напряжения.
37. Ток, проходящий через человека в землю в электроустановках сверхвысокого напряжения.
38. Экранирующий костюм. Конструкция костюма. Защитный принцип костюма.
39. Экранирующие устройства, конструкции и размещение.
40. Особенности пофазного ремонта.
41. Потенциальная характеристика вдоль отключенного провода.
42. Электромагнитное влияние неотключенных проводов ВЛ на отключенный провод (незаземленный и заземленный).
43. ПТБ при пофазном ремонте ВЛ.
44. Особенности работ под напряжением на ВЛ.
45. Принцип, положенный в основу метода работы под напряжением.
46. Ток емкости «человек-земля» и его ограничения.
47. Порядок выполнения работ под напряжением.
48. причины поражения током и способы их устранения при работах под напряжением.
49. Область и порядок применения правил техники безопасности (ПТБ).
50. Допускается ли отступление от ПТБ.
51. Может ли кто-нибудь дополнять и изменять ПТБ.
52. Кто допускается к оперативному обслуживанию электроустановок.
53. Кто имеет право проводить единоличный осмотр электрооборудования.
54. ПТБ при осмотре электрооборудования.
55. Правила хранения и выдачи ключей от электроустановок.
56. Виды работ в электроустановках в отношении мер безопасности.
57. Допустимые расстояния (от работающих, инструментов, ограждений) до токоведущих частей, находящихся под напряжением.

58. ПТБ при работе в электроустановках напряжением до 1000 В без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них.
59. При каких условиях разрешается работать в электроустановках в согнутом положении.
60. ПТБ при приближении грозы.
61. Можно ли приближаться к месту замыкания провода на землю.
62. ПТБ при установке и снятии предохранителей.
63. Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках.
64. Лица, ответственные за безопасность работ, их права и обязанности.
65. Порядок выдачи и оформления наряда.
66. Допуск бригады к работе по наряду.
67. Надзор во время работы, изменение состава бригады.
68. Оформление перерывов в работе по наряду.
69. Перевод бригады на новое рабочее место.
70. Окончание работы. Закрытие наряда и включение оборудования в работу.
71. Выполнение работ по распоряжению в порядке текущей эксплуатации.
72. Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ, выполняемых со снятием напряжения.
73. Проверка отсутствия напряжения.
74. Заземление токоведущих частей. Общие требования.
75. Заземление ВЛЭП.
76. Хранение и учет заземлений.
77. ПТБ при обслуживании электродвигателей.
78. ПТБ при обслуживании КРУ.
79. ПТБ при рытье кабельных траншей.
80. ПТБ при разрезании кабеля.
81. ПТБ при работе с паяльной лампой.
82. ПТБ при работе во вторичных цепях.
83. Может ли лицо со II группой по ТБ выполнять чистку изоляции.

84. ПТБ при проведении испытаний с подачей повышенного напряжения от постороннего источника тока.
85. ПТБ при работе с электроизмерительными клещами и измерительными штангами.
86. ПТБ при работе с электроинструментом.
87. ПТБ при работах, связанных с подъемом нависоту.
88. ПТБ при приготовлении электролита.
89. ПТБ при подъеме на опору ВЛ.
90. ПТБ при расчистке трассы от деревьев.
91. ПТБ для лиц командированного персонала.
92. Тушение пожаров в электроустановках.
93. Обучение на рабочем месте, стажировка, дублирование
94. Правила расследования несчастных случаев в электроустановках.

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Сибикин, Юрий Дмитриевич . Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий [Текст] : учеб.: доп. Мин. Обр. РФ / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. -2-е изд., испр. и доп. -М. : Академия, 2003, 2004. -237 с.
2. Долин, Петр Алексеевич. Электробезопасность [Текст] : задачник: учеб. пособие: доп. УМО по образ. в обл. энергетики / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков; под ред. В.Т. Медведева. -М. : Гардарики, 2003. - 215 с.
3. Долин, Петр Алексеевич. Действие электрического тока на человека и первая помощь пострадавшему [Текст] / Долин А.А. -М. : Энергоатомиздат, 2000. -141с.
4. Безопасность жизнедеятельности : учебник для вузов / [С. В. Белов, В. А. Девисилов, А. В. Ильиницкая и др.] ; под ред. С. В. Белова. - Изд. 7-е, стер. - М. : Высшая школа, 2007. - 616 с. : ил. - Прилож.: с. 611-612. - Библиогр. с. 613. - ISBN 978-5-06-00
5. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности : Терминология : учеб. пособие для вузов / С. В. Белов, В. С. Ванаев, А. Ф. Козьяков ; под ред. С. В. Белова. - М. : Кнорус, 2008. - 390 с. - ISBN 978-5-85971-542-8
6. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды : (техносферная безопасность) : учебник / С. В. Белов. - Москва : Юрайт, 2011. - 679, [1] с. : ил., табл. ; 21. - (Основы наук). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 680. - ISBN 978-5-99
7. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда : учеб. пособие / [П. П. Кукин, В. Л. Лапин, Н. Л. Пономарев, Н. И. Сердюк]. - Изд. 5-е, стер. - Москва : Высшая школа, 2009. - 334 с. : ил. - (Для высших учебных заведений)
8. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: «Знак», 2000.
9. Экология и безопасность жизнедеятельности / Под ред. А.А. Муравья. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000.

Дополнительная литература

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 г. №903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» (с изменениями и дополнениями от 29 апреля 2022 г. и 29 апреля 2025 г.) // Официальный интернет-портал

правовой информации. — URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_372952/ (дата обращения: 01.01.2026).

2. Межотраслевые типовые инструкции по охране труда при эксплуатации электроустановок [Текст], 2006. -160 с.
- 3.Манойлов, Владимир Евстафьевич. Основы электробезопасности [Текст] / В. Е. Манойлов. -4-е изд., перераб. и доп. -Л. : Энергоатомиздат, 1985. -384 с.
- 4.Правила применения и испытания средств защиты, используемых в электроустановках, технические требования к ним [Текст]. -СПб. : Деан, 2000. -128 с.
- 5.Электробезопасность [Видеозапись] : учеб. видеофильмы. -[Б. м. : б. и.], [2004]. -1 вк. (33 мин.) : цв., звук на том же нос., VHS. -(Охрана труда и техника безопасности).
- 6.Собурь, С. В.Пожарная безопасность электроустановок [Текст] : справочник / С. В. Собурь ; ред. В. И. Кузнецов. -2-е изд., доп. (с изм.). -М. : Спецтехника, 2000. -259 с.
- 7.Электробезопасность [Текст] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140204, 140205, 140211, 140203 / АмГУ, Эн.ф. ; сост. А. Г. Тоушкин. -Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. -69 с.
- 8.Электробезопасность [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс по дисц. для спец. 140204, 140205, 140211, 140203 / АмГУ, Эн.ф. ; сост. А. Г. Тоушкин. -Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007.
- 9.Охрана труда в электроустановках [Текст] : учеб.: доп. Мин. высш. и сред. спец. обр. СССР / под ред. Б. А. Князевского. -3-е изд., перераб. и доп. -М. : Энергоатомиздат, 1983. -336 с.в)
10. Безопасность жизнедеятельности : учебник / под ред. С. В. Белова. - Изд. 4-е, испр. и доп. - М. : Высш. шк., 2004. - 606 с. : ил. - Библиогр.: с.602-603. - ISBN 5-06-004171-9
11. Безопасность жизнедеятельности : [учебник] / [С.В. Белов, В.А. Девисилов, А.Ф. Козьяков и др.] ; под ред. С.В. Белова. - 3-е изд., испр. и доп.

- М. : Высшая школа, 2003. - 357 с. - Библиогр.: с. 350-350. - ISBN 5-06-004294-4

12. Экология и безопасность жизнедеятельности : учеб. пособие для вузов / [Кривошеин Д. А., Муравей Л. А., Роева Н. Н. и др.] ; под ред. Л. А. Муравья. - М. : ЮНИТИ, 2000. - 448 с. : ил. - Библиогр.: в тексте. - ISBN 5-238-00139-8

13. Безопасность жизнедеятельности : [учеб. пособие] для студ. вузов / [Л.А. Муравей, Д.А. Кривовшеин, Е.Н. Черемысина и др.] ; под ред. Л.А. Муравья. - 2-е изд., перераб. и лоп. - М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. - 431 с. - Библиогр. в конце глав. - ISBN 5-238-00352-

14. Экология и безопасность жизнедеятельности : [учеб. пособие] для студ. вузов / [Л.А. Муравей, Д.А. Кривовшеин, Н.Н. Роева и др.] ; под ред. Л.А. Муравья. - М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2002. - 447 с. - Библиогр.: с. 446-447. - ISBN 5-238-00139-8

15. Князевский, Б. А. Техника безопасности и противопожарная техника в электроустановках : учеб. пособие для сред. спец. учеб. зав. / Б. А.

Князевский, Н. А. Чекалин. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. : Энергия, 1973. - 248 с. : ил. - Гриф: Доп. МО. - Библиог

16. Охрана труда : учебник для студ. вузов / [Б. А. Князевский, П. А. Долин, Т. П. Марусова и др.] ; под ред. Б. А. Князевского. - Изд. 2-е. перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1982. - 311 с. : ил. - Гриф: Доп. МО. - Библиогр.: с. 308

17. Техника безопасности в электроэнергетических установках : справочное пособие / [сост. Р. А. Гаджиев, П. А. Долин, Н. П. Симочатов] ; под ред. П. А. Долина. - М. : Энергоатомиздат, 1987. - 400 с.

18. Техника безопасности в электроэнергетических установках : справочное пособие / [сост. Р. А. Гаджиев, П. А. Долин, Н. П. Симочатов] ; под ред. П. А. Долина. - М. : Энергоатомиздат, 1988. - 400 с. : ил.

19. Долин, П. А. Справочник по технике безопасности / П. А. Долин. - Изд. 6-е, перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1985. - 824 с. : ил. - Библиогр.: с. 797-802

20. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Знак, 2003. - 440 с. - Библиогр.: с. 431-432 (32 назв.)

21. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда) : учеб. пособие для вузов / П. П. Кукин [и др.]. - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Высшая школа, 2001. - 319 с. - Библиогр.: с. 316. - ISBN 5-06-004157-3

22. Безопасность жизнедеятельности. безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда : учеб. пособие / [П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др.]. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Высшая школа, 2002. - 319 с. - На учебнике гриф: Рек.МО.

23. Безопасность жизнедеятельности. Производственная безопасность и охрана труда : учеб. пособие / [П. П. Кукин и др.]. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Высшая школа, 2003. - 439 с. : ил. - Гриф: Доп. МО для техникумов. - Библиогр.: с. 427. - ISBN 5-06-004130

14.1.3. Методическая литература:

- Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности" для студентов специальностей 140205(100200) "Электроэнергетические системы и сети" ; 140211(100400) "Электроснабжение" / сост. Х. М. Мустафаев, А. С. Семченко, С. А. Яшунин ; рец. А. В. Ивашина. - Ставрополь : СевКавГТУ, 2005. - 120 с. - Библиогр.: с. 18-20(22 назв.)

- Методические указания по практическим занятиям по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности" для студентов специальностей 140205(100200) "Электроэнергетические системы и сети", 140211(100400) "Электроснабжение" и 140200(551700) "Электроэнергетика" / сост. А. А. Головченко, Х. М. Мустафаев ; рец. А. В. Ивашина. - Ставрополь : СевКавГТУ, 2006. - 136 с. - Библиогр.: с. 133-134(24 назв.)

- Методические указания по выполнению практических занятий по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов

специальностей 140200 - «Электроэнергетика», 140205 - «Электроэнергетические системы и сети», 140211 - «Электроснабжение» / сост. М. Б. Джуманиязов [и др.] ; рец. Т. Ф. Морозова. - Ставрополь : СевКавГТУ, 2010. - 67 с. - Библиогр.: с. 66

- Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов специальностей 140205 - «Электроэнергетические системы и сети», 140211 - «Электроснабжение» (по отраслям), 140200 - «Электроэнергетика» / сост. Ф. Ш. Ахмедов [и др.] ; рец. А. В. Ивашина - Ставрополь : СевКавГТУ, 2010. - 75 с. - Библиогр.: с. 74

- Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов специальностей 140205 - «Электроэнергетические системы и сети», 140211 - «Электроснабжение (по отраслям)», 140200 - «Электроэнергетика» / сост. Ф. Ш. Ахмедов [и др.] ; рец. А. В. Ивашина, Ч. 2 - Ставрополь : СевКавГТУ, 2010. - 76 с. - Библиогр.: с. 58. - Прил.: с. 59

- . Методические указания к выполнению лабораторных работ на виртуальных стендах LABVIEW по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для студентов специальностей 140200 - «Электроэнергетика» 140205 - «Электроэнергетические системы и сети», 140211 - «Электроснабжение (по отраслям)», / сост. М.Г.Бестаев [и др.] ; рец. Т.Ф.Морозова. - Ставрополь : СевКавГТУ, 2011. - 68 с. - Библиогр.: с. 68. - Прил.: с. 68