Министерство образования и науки Пермского края
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Нытвенский многопрофильный техникум».

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПМ.02 «ПРОВЕРКА И НАЛАДКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ»

Профессия: 13.01.10 «Электромонтёр по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям)»

г. Нытва, 2023 г.

Методические указания для студентов по выполнению практических работ по ПМ 02 разработаны в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по профессии 13.01.10 Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 02.08.2013 года, № 802,зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации20 августа 2013 г., регистрационный №29611, с изменениями, внесенными Министерством образования и науки Российской Федерации от 17 марта 2015 г., №247, зарегистрированными Министерством юстиции Российской Федерации03апреля 2015 г., регистрационный № 36, с учетом Приказа № 796 от 01.09.2022 *г.* «О внесении изменений в ФГОС СПО»: и рабочей программы комплекса.

Утверждено
Директор
_____Геберт Д.И
«_5_»_сентября__2023 г.

Рассмотрено и одобрено
Предметно-цикловой комиссией
ОП дисциплин и ПМ
Протокол № 1 от «04» сентября 2023г.
Председатель ПЦК
_____/_Мартемьянова О.А./

Организация разработчик:
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Нытвенский многопрофильный техникум»

**Разработал:**
Богомягков Игорь Владимирович- преподаватель общепрофессиональных дисциплин и профессиональных модулей, высшая квалификационная категория.

**Содержание**

ВВЕДЕНИЕ…….

3

ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ МОДУЛЮ6

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ …… ……8

ПРИЛОЖЕНИЕ 1……...…….76

# ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации для обучающихся по выполнению практических и лабораторных занятий по профессиональному модулю ПМ.02 Проверка и наладка электрооборудования составлены в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом, рабочим учебным планом, рабочей программой ПМ и календарно-тематическим планом по профессии 13.01.10 Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям).

Целью выполнения заданий при проведении практических и лабораторных работ является формирование профессиональных и общих компетенций в области овладения видами профессиональной деятельности:

Сборка, монтаж, регулировка и ремонт узлов и механизмов оборудования, агрегатов, машин, станков и другого электрооборудования промышленных организаций.

Задачи, направленные на проведение практических и лабораторных работ:

- изучение основ слесарно-сборочных и электромонтажных работ;
- ознакомление с техникой безопасности и способами рациональной организации труда при выполнении слесарно-сборочных и электромонтажных работ;
- приобретение умений и навыков исследовательской работы, самостоятельной работы с приборами, инструментами, оборудованием;
- закрепление и накопление знаний учащихся, полученных на лекциях и при самостоятельном изучении литературы.

Каждая лабораторная работа имеет определенную тему, ориентирована на выполнение конкретных целей с использованием оборудования, четко обозначенным алгоритмом работы и контрольными вопросами для проверки и систематизации полученных знаний и умений. Просматривается взаимосвязь с учебной и производственной практикой.

## Общие методические указания по выполнению лабораторных работ

Обучающимся предлагается изучить по методическим рекомендациям и конспекту лекций теоретические вопросы, относящиеся к теме предстоящей работы, познакомиться с содержанием и порядком выполнения работы. Перед выполнением практической или лабораторной работы студент должен изучить правила техники безопасности.

Алгоритм выполнения лабораторно-практической работы:

1) запись темы и целей работы в тетрадь;

2) повторение базовых теоретических знаний, необходимых для рациональной работы и осуществления эксперимента и других практических действий;

3) ознакомление с правилами инструктажа о соблюдении требований безопасности труда и их применении при обращении с приборами и оборудованием;

4) изучение чертежа (схемы) (как вариант);

5) выполнение работ по алгоритму действий (ходу работы);

6) внесение полученных результатов в тетрадь;

7) обобщение результатов работы в выводе к работе и составление отчета по проделанной работе;

8) запись ответов на контрольные вопросы.

Письменный отчет составляется обучающимся в процессе выполнения работы и сдается для проверки преподавателю.

**ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ МОДУЛЮ.**

ПМ.02 Проверка и наладка электрооборудования...

В процессе выполнения практических и лабораторных работ, обучающиеся должны получить **практический опыт:**

-заполнения технологической документации;

-работы с измерительными электрическими приборами, средствами измерений, стендами.

**овладеть умениями:**

-выполнять испытания и наладку осветительных электроустановок;

- проводить электрические измерения

- снимать показания приборов;

- проверять электрооборудование на соответствие чертежам, электрическим схемам, техническим условиям.

**знаниями:**

- общей классификации измерительных приборов;

- схем включения приборов в электрическую цепь;

- документации на техническое обслуживание приборов;

- системы эксплуатации и поверки приборов;

- общих правил технического обслуживания измерительных приборов.

**Работа на практических и лабораторных занятиях формирует у обучающихся следующие общие и профессиональные компетенции:**

| Коды | Общие и профессиональные компетенции |
|---|---|
| ОК 1. | Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам. |
| ОК 2. | Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности. |
| ОК 3. | Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях |
| ОК 4. | Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде. |
| ОК 5. | Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке с учетом особенностей социального и культурного контекста. |
| ОК 6. | Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей, в том числе с учетом гармонизации межнациональных и межрегиональных отношений, применять стандарты анти коррупционного поведения. |
| ОК 7. | Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания по изменению климата, принципы бережливого производства эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях. |
| ОК 8. | Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности. |
| ОК 9. | Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках. |
| ПК 2.1 | Принимать в эксплуатацию отремонтированное электрооборудование и включать его в работу. |
| ПК 2.2 | Производить испытания и пробный пуск машин под наблюдением инженерно-технического персонала. |
| ПК 2.3 | Настраивать и регулировать контрольно-измерительные приборы и инструменты. |

## ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

| № | Общие и профессиональные компетенции | Тема | Кол-во часов |
|---|---|---|---|
| **МДК 02.01 Организация и технология проверки электрооборудования.** | | | **40** |
| 1. | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 2.2 –ПК2.3 | **Практическая работа 1**. Определение характеристик изоляции. | 4 |
| 2. | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 2.1 –ПК2.3 | **Практическая работа 2.** Проверка правильности работы переключателя ответвлений трансформаторов под нагрузкой | 2 |
| 3. | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 2.1 –ПК2.2. | **Практическая работа 3.** Составление инструкционных карт на проверку асинхронного двигателя | 4 |
| 4. | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 2.1 –ПК2.2. | **Практическая работа 4.** Составление инструкционных карт на проверку силового трансформатора | 4 |
| 5. | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 2.2 –ПК1.2. | **Практическая работа 5.** Приборы и приспособления для проверки качества контактов | 4 |
| 6. | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК2.3 | **Практическая работа 6**. Анализ схем фазировки кабелей | 2 |
| 7. | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 2.1, ПК2.3 | **Практическая работа 7.** Схема испытаний кабелей повышенным напряжением постоянного тока. | 4 |
| 8. | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 2.2 –ПК2.3 | **Практическая работа 8.** Расчет сопротивления заземлителей. | 4 |
| 9. | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 2.3. | **Практическая работа 9.** Анализ схем измерения сопротивления заземлителей. | 4 |
| 10. | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 2.2, ПК 2.3 | **Практическая работа 10.** Анализ схем измерения заземляющих проводников. Проверка наличия цепи между заземлителем и заземляющими элементами электроустановок («металлосвязь»). | 2 |
| 11. | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 2.3. | **Практическая работа 11**. Расчет удельного сопротивления грунта. | 4 |
| 12. | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 2.1 –ПК2.3 | **Практическая работа 12.** Результаты и протокол испытания кабеля повышенным напряжением | 2 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **МДК. 02.02 Контрольно-измерительные приборы** | | | |
| | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 2.3 | **Практическая работа 1.** Перевод внесистемных единиц в Международную систему единиц физических величин. | |
| | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 1.1 –ПК1.2 | **Практическая работа 2** Решение примеров с применением кратных и дольных единиц физической величины. | |
| | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 1.1 –ПК1.2 | **Практическая работа 3.** Описание приборов по условным обозначениям на шкалах приборов. | |
| | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 1.1 –ПК1.2 | **Практическая работа 4.** Составление электрических схем для различных измерений. | |
| | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 1.1 –ПК1.2 | **Практическая работа 5.** Расчет добавочных сопротивлений и шунтов. Схемы включения. | |
| | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 1.1 –ПК1.2 | **Практическая работа 6.** Расчет измерительных трансформаторов тока и напряжения. Схемы включения | |
| | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 1.1 –ПК1.2 | **Практическая работа 7.** Определение показаний измерений многопредельными комбинированными приборами. | |
| | ОК 1, ОК2, ОК 4, ОК6, ОК7; ПК 1.1 –ПК1.2 | **Практическая работа 8.** Определение метрологических характеристик электроизмерительных приборов. | |

## ОРГАНИЗАЦИЯ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ.

Практические и лабораторные работы знакомят студентов с устройством трансформаторов, электрических машин, электромашинных элементов электропривода, типовых схем автоматического электропривода и позволяют экспериментально проверить основные положения теории, приобрести навыки по сборке электрических схем, содержащих электрические машины, трансформаторы, пускорегулирующую аппаратуру, измерительные устройства. Непосредственное участие в экспериментах вырабатывает у студентов практические навыки по методике проведения опытов и обработке их результатов. По полученным данным лабораторного исследования студенты должны научиться оценивать свойства электрических машин и систем электропривода.

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо: тщательно изучить содержание работы и порядок ее выполнения; повторить теоретический материал; подготовить таблицы для занесения результатов наблюдений и вычислений. Студент должен иметь отдельную рабочую тетрадь для записей, необходимых для составления отчета о проделанной работе. Чтобы избежать возможных ошибок при чтении принципиальных схем и ознакомлении с лабораторными стендами, нужно знать условные обозначения и буквенные коды электротехнических элементов и устройств, соответствующих действующему стандарту.

Практические и лабораторные работы выполняются бригадами, обычно из 2 — 5 человек. При завершении работы студенты составляют отчет. Практические и лабораторная работа засчитывается, если отчет соответствует предъявляемым требованиям и если студент ответил на вопросы преподавателя. При этом студент должен знать устройство и принцип работы объекта исследования, назначение всех элементов схемы и понимать физические процессы, объясняющие полученные результаты, а также уметь объяснить порядок действий при выполнении любого эксперимента в лабораторной работе.

Лабораторные и практические работы рассчитаны на 2-6 академических часа.

**Техника безопасности при проведении работ в электромонтажной мастерской.**

1. Все работы по сборке или монтажу приборов, электродвигателей и электротехнических схем следует производить на рабочих местах без напряжения. Перед началом работы необходимо обеспечить сеть /вывинтить предохранитель, разомкнуть рубильник и т.п./. Надо помнить, что напряжение тока свыше 12 вольт, силой тока в 0,1 ампер в сырых и 36 вольт, в сухих помещениях при несоблюдении правил электробезопасности опасно для жизни человека.

2. Проверку собранных схем следует проводить на одном из рабочих мест, оборудованных вариатором /автотрансформатором/, а также оснащенных средствами защиты /резиновые перчатки, коврик, галоши, очки, исправная контрольная лампа- пробник/.

3. Основной причиной несчастных случаев являются оголенные провода, работа с приборами под напряжением. Включать только готовую схему можно лишь после осмотра и разрешения учителя.

**До начала работы**

1. Правильно надеть спецодежду /фартук с нарукавниками или халат и головной убор: берет или косынку. При этом следует тщательно подбирать волосы и заправлять концы косынки..

2. Разложить на рабочем месте инструменты индивидуального пользования в порядке, установленном учителем. На рабочем месте не должно быть ничего лишнего.

3. Проверить состояние инструментов. Ручки плоскогубцев, кусачек и т.д. должны иметь изолированное покрытие. Рукоятки отверток должны быть из изолированного материала. Пользоваться инструментами только по назначению.

4. Подготовить материалы и разложить их на рабочем месте так, чтобы все было на виду и не мешало в работе.

**Во время работы**

1. Монтировать или собирать электрические схемы, производить в них переключение можно лишь при отсутствии напряжения.

2. Схему собирать так, чтобы провода не перекрещивались, не были натянуты и не скрещивались петельками.

3. Припайки использовать в качестве флюса канифоль. Строго выполнять инструкцию по технике безопасности при электропаянии.

4. При работе возле электрических приборов и машин следить, чтобы руки, одежда и волосы не касались вращающихся деталей и оголенных проводов.

5. Собранную монтажную схему разрешается включать только после осмотра её учителем.

6. Запрещается проверять наличие напряжения пальцами.

7. Во всех случаях обнаружения поврежденной электропроводки, оборудования, измерительных приборов надо немедленно выключить рубильник и поставить в известность учителя.

**После окончания работ**

1. Выключить рубильник. Отключить схему /прибор/ от питания электротоком.

2. Измерительные приборы, инструменты положить так, как были первоначально до работы. Проверить их состояние.

3. Убрать рабочее место от отходов, пыли и лишних деталей. При уборке пользоваться сметкой – щеткой.

4. Привести в порядок и спецодежду в порядок.

## Практическая работа 1

Определение характеристик изоляции

Цель работы: знать методы определения характеристик изоляции силового трансформатора

### Теоретические основы

**Сопротивление изоляции** определяют мегаомметром на 1000, 2500 В с верхним пределом измерения не ниже 10 000 МОм. Перед измерениями испытываемую обмотку заземляют на 2—5 мин для снятия возможного емкостного заряда. Измерения осуществляют между каждой обмоткой и корпусом и между обмотками при отсоединенных и заземленных на корпус остальных обмотках.

Состояние изоляции обмоток определяют не только абсолютным значением ее сопротивления, но и коэффициентом абсорбции $K_{абс}$ = R60/R15. Измерение сопротивления изоляции позволяет судить как о местных дефектах, так и о степени увлажнения изоляции обмоток трансформатора. Значение сопротивления изоляции R60 не нормируется, но его необходимо сравнивать с данными заводских испытаний. Коэффициент абсорбции также не нормируется, но обычно при 10—30 °С для трансформаторов с неувлажненными обмотками напряжением до 35 кВ. включительно он находится в пределах 1,3 и выше, для трансформаторов 110 кВ. и выше — в пределах 1,5—2,0. Для трансформаторов с увлажненными обмотками этот коэффициент близок к 1,0.

Во время пусконаладочных работ сопротивление изоляции измеряют при различных температурах. Для сравнения перечитывают измеренные результаты сопротивления R60 изоляции при разных температурах и с помощью коэффициента К приводят к среднему значению. При этом учитывают, что с понижением температуры на каждые 10 °С сопротивление увеличивается в 1,5 раза.

Сопротивление изоляции R60, измеренное при пусконаладочных работах и приведенное к температуре измерения, указанной в паспорте, должно быть не менее 70 °С сопротивления, приведенного в этом паспорте.

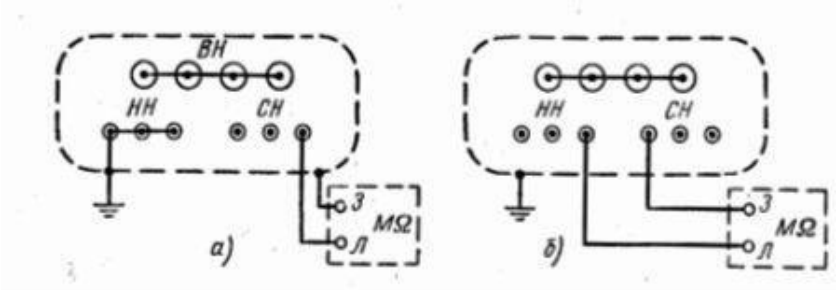



**Рис. 1.** Схемы измерения сопротивления изоляции обмоток трансформатора: а –относительно корпуса; б – между обмотками трансформатора

**Проверка влажности изоляции** трансформаторов включает в себя определение сопротивления изоляции через 60 мин после включения, коэффициенту абсорбции обмоток тангенса угла диэлектрических потерь обмоток (tgS), отношения емкостей обмоток при частотах 50 и 2 Гц (C2/C50), а также отношения емкостей обмоток в нагретом и холодном состояниях (Сгор/Схол) и относительного прироста емкости по времени (АС) по отношению к емкости (С) обмоток при одной и той же температуре *(АС/С).*

Величину *tg δ* изоляции измеряют с помощью моста переменного тока Р5026 илиР5026М (моста Шеринга).

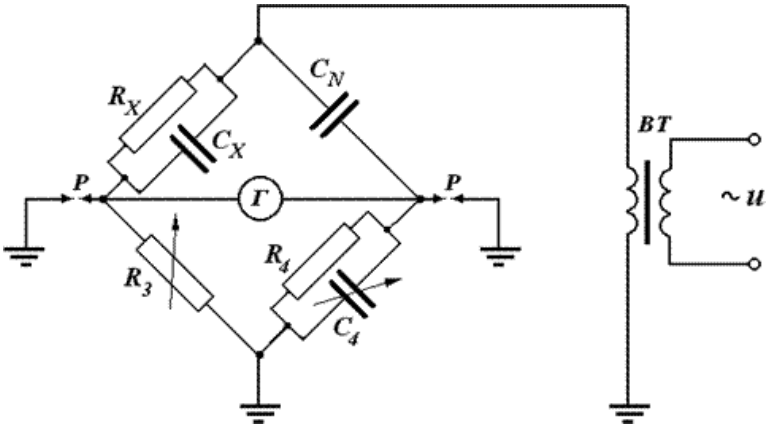



**Рис.2** Мост Шеринга. Плечи моста переменного тока:

*CX, RX* - емкость и сопротивление утечки испытуемой изоляции;

*CN* - эталонный конденсатор с малыми потерями;

*R3* - регулируемый образцовый резистор;

*R4* и *C4* - нерегулируемый образцовый резистор и регулируемый образцовый конденсатор.

К одной из диагоналей моста подводится переменное напряжение (до 10 кВ.). В другую диагональ включен гальванометр Г, служащий индикатором моста.

Защитные разрядники Р предохраняют измерительные плечи моста в случае пробоя испытуемой изоляции. Для уменьшения ошибок измерения вследствие наводок от внешних полей мост экранируется.

Изменяя величину сопротивления резистора R3 и емкости конденсатора С4, добиваются равновесия моста, при котором индикатор Г не отклоняется от нулевого значения. Условием равновесия моста переменного тока является равенство произведений полныхсопротивлений противоположных плеч моста, т.е.:

$\underline{Z}_X \underline{Z}_4 = \underline{Z}_3 \underline{Z}_N$ $\qquad$ $C_X = C_N\ (R4/R3)$

Обычно R4 = 104/π=3184 Ом. Тогда tgδ = C4 (в микрофарадах).

Таблица 1. Наибольшие допустимые значения tgδ изоляции обмоток трансформаторов в масле

| Трансформаторы | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 35 кВ. мощностью более 10000 кВА и 110 кВ. всех мощностей | 1,8 | 2,5 | 3,5 | 5,0 | 7,0 | 10,0 | 14,0 |
| 220 кВ. всех мощностей | 1,0 | 1,3 | 1,6 | 2,0 | 2,5 | 3,2 | 4,0 |

**Испытание изоляции повышенным напряжением** следует проводить после всехиспытаний. Нарушение этой последовательности может вызвать повреждение вполне доброкачественного трансформатора.

В результате приложения повышенного напряжения создается в испытуемой изоляции увеличенная напряженность электрического поля, что позволяет выявить дефекты в ней, не обнаруженные другими методами.

Характерные дефекты, выявляемые при этом испытании:

1) недостаточные расстояния между гибкими неизолированными отводами обмоток НН вместах их подсоединения к шпильке ввода;
2) наличие в трансформаторе воздушных пузырей;
3) некоторые виды местного увлажнения и загрязнения изоляционных деталей.

Испытательные напряжения для сухих трансформаторов, а также масляных специального исполнения устанавливаются заводской технической документацией. При испытании на монтаже испытательное напряжение составляет 90% нормируемых для данного класса изоляции значений, указанных выше.

При испытании вводы испытуемой обмотки подключены к испытательному трансформатору, вводы остальных обмоток соединены между собой и заземлены. Напряжение увеличивают плавно при помощи регулировочного трансформатора. Контроль за подводимым напряжением осуществляют по показаниям вольтметра, установленного в первичной цепи испытательного трансформатора, с учетом его коэффициентатрансформации.

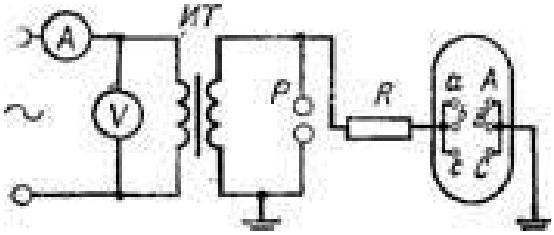



Рис. 3. Схема испытания изоляции трансформатора повышенным напряжениемИТ — испытательный трансформатор; Р — разрядник; R — резистор

Разрядник (искровой вольтметр) является индикатором предельного напряжения,косвенно служит для защиты от пробоя испытываемого оборудования, не позволяя подвести напряжение, превышающее допустимое по нормам.

Контроль за состоянием изоляции при испытании производят по показаниямамперметра и путем наблюдения и прослушивания.

Повреждения в испытуемом трансформаторе проявляются в виде потрескивания и разрядов внутри, выделением дыма из расширителя и изменения тока в испытательномтрансформаторе.

Трансформатор считается выдержавшим испытание, если в процессе испытания не наблюдалось пробоя или частичных разрядов, определяемых по звуку, выделению газа и дыма или по показаниям приборов. При обнаружении дефектов трансформатор подлежит разборке для обнаружения дефектов и выполнения соответствующего ремонта.

**Задание**

Заполните таблицу «Проверка и испытание изоляции силовых трансформаторов».

Таблица 2

| № п/п | Программа испытаний | Применяемые методы | Электрических схемы |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

## Практическая работа 2

Проверка правильности работы переключателя ответвленийтрансформаторов под нагрузкой.

**Цель работы**: знать методы проверки правильности работы переключателя ответвленийтрансформаторов под нагрузкой.

### Теоретические основы

Проверка правильности работы переключающих устройств для регулирования напряжения под нагрузкой.

Переключающее устройство РНТ-13А (рис.4, а) содержит: сдвоенные переключатели ответвлений П1 и П2\ контакторы К1 и К2, поочередно подключающие переключатели П1 и П2 к реактору Р; реактор Р, шунтирующий витки обмотки трансформатора между двумя смежными ответвлениями в момент, когда оба контактора включены, а переключатели подключены к разным ответвлениям, а также привод и элементы ручного, дистанционного и автоматического управления переключающим устройством (привод и элементы управления на чертеже не показаны).

Последовательность работы переключателей П1 и П2 и контакторов К1 и К2 при правильной работе переключающего устройства показана в табл. 3.

Нарушение этой последовательности может привести к серьезным повреждениям трансформатора и аварии электрической сети.

Таблица 3. Последовательность действия всех элементов переключающего устройства при правильной работе по переключению с 5-й на 6-ю ступень.

| Положение переключающего устройства | Контакторы | | Переключатели | |
|---|---|---|---|---|
| | К1 | К2 | П1 | П2 |
| В рабочем положении 5-й ступени | Включен | Включен | Включен на 5-й ступени | Включен на 5-й ступени |
| 1-е промежуточное положение | Выключен | * | То же | То же |
| 2-е промежуточное положение | * | * | Выключен | » |
| 3-е промежуточное положение | * | * | Включен на 6-й ступени | * |
| 4-е промежуточное положение | Включен | * | То же | » |
| 5-е промежуточное положение | » | Выключен | * | » |
| 6-е промежуточное положение | * | * | * | Выключен |
| 7-е промежуточное положение | » | » | » | Включен на 6-й ступени |
| В рабочем положении на 6-й ступени | 8 | Включен | » | То же |

Поэтому особое внимание следует обратить на проверку последовательности действия отдельных элементов переключающего устройства, которую выполняют, снимая круговую диаграмму.

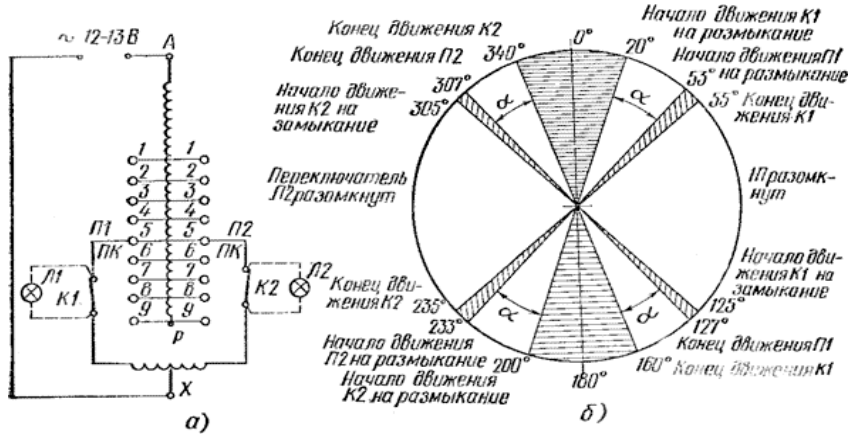



**Рис. 4**. Снятие круговой диаграммы переключающего устройства РНТ-13А:а —схема переключателя, б — круговая диаграмма

При отсутствии заводской шкалы для снятия круговой диаграммы нужно надеть на вертикальный вал между приводным механизмом и контакторами картонную (или из другого материала) шкалу, разделенную на 360°, и укрепить ее так, чтобы при вращении вертикального вала эта шкала была неподвижна. К валу прикрепляют стрелку так, чтобы ееконец располагался против делений шкалы. С помощью рукоятки прокручивают механизм в одном направлении (например, по часовой стрелке), выбирая люфт и устанавливая стрелку против нулевого деления шкалы. В дальнейшем, вращая рукоятку, фиксируют деление шкалы, против которых располагается стрелка при размыкании и замыкании каждого контактора и контактов переключателей. О замыкании и размыкании контакторов и контактов переключателей можно судить по лампам Л1 и Л2, включенным, как показано пунктирными линиями на рис. 4, а.

В исходном положении переключающего устройства лампы Л1 и Л2 не горят, поскольку они зашунтированы контакторами К1 и К2. При переключении с 5-го на 6-е ответвление вначале отключается контактор К1, при этом загорается лампа Л1. Затем подвижный контакт ПК переключателя П1 сходит с 5-го неподвижного контакта, и лампа Л1 гаснет. После этого подвижный контакт ПК переключателя П1 находит на 6-й неподвижный контакт, а лампа Л1 загорается. Далее включается контактор К1, и лампа Л1 гаснет. На следующем этапе отключается контактор К2 и загорается лампа Л2, после чего подвижный контакт ПК переключателя П2 сходит с 5-го неподвижного контакта, а лампа Л2 гаснет. Затем подвижный контакт ПК переключателя П2 находит на неподвижный контакт, загорается лампа Л2. Наконец, включается контактор К2 и лампа Л2 гаснет.

Круговые диаграммы снимают для всех трех фаз трансформатора сначала при вращении рукоятки по часовой стрелке, а затем против часовой стрелки. Полученные результаты заносят в табл. 4, по этим данным строят диаграмму (рис. 4, б) и сопоставляютее с расчетной. Угол α на диаграмме не должен быть менее 30°.

В рассматриваемом переключающем устройстве имеется дистанционный контроль положения переключателя. Контроль осуществляется синхронной передачей с помощьюдвух сельсинов — датчика и приемника (индикатора).

Таблица 4. Результаты снятия круговой диаграммы (например, при ходе переключателя, от5-го к 6-му положению и обратно)

| Состояние контакторов и переключателей. | Угол поворота вала фазы, град | | |
|---|---|---|---|
| | A \| | B | C |
| Ход от 5-го к 6-му положению<br>Контактор К1 отключился Подвижный контакт ПК переключателя П1 сошел снеподвижного контакта 5 Подвижный контакт ПК переключателя П1 коснулсянеподвижного контакта 6 Контактор К1 включился Контактор К2 отключился Подвижный контакт ПК переключателя П2 сошел с неподвижного контакта 5 Подвижный контакт ПК переключателя П2 коснулся неподвижного контакта 6Контактор К2 включился | | | |
| Ход от 6-го к 5-му положению Контактор К2 отключился Подвижный контактПК переключателя П2 сошел с неподвижного контакта 6 Подвижный контакт ПК переключателя П2 коснулся неподвижного контакта 5 Контактор К2включился | | | |
| Контактор К1 отключился Подвижный контакт переключателя П1 сошел с неподвижного контакта 6 | | | |

**Задание**

Заполнить таблицу результатов снятия круговой диаграммы при ходе переключателя переключающего устройства РНТ-13А от 5-го к 6-му положению и обратно в соответствиис круговой диаграммой, приведенной на рис.4, б.

## Практическая работа 3

Составление инструкционных карт на проверку асинхронного двигателя.

**Цель работы:** научиться составлять инструкционные карты на проверку асинхронного двигателя

**Теоретические основы**

Технологическая карта (ТК): организационно-технологический документ, разрабатываемый для выполнения технологического процесса и определяющий состав операций и средств механизации, требования к качеству, трудоемкость, ресурсы и мероприятия по безопасному производству работ.

Типовая технологическая карта: организационно-технологический документ, разрабатываемый для выполнения однотипного технологическогопроцесса.

Инструкционная технологическая карта: технологический документ, разрабатываемый для выполнения технологического процесса, предназначенный для инструктирования и обучения персонала

Согласно ПУЭ и в соответствии с ГОСТ 183-74 и 11677-85 электрические машины после их монтажа или капитального ремонта подвергаются приемосдаточным испытаниям, при этом производят:

- внешний осмотр;
- проверку схемы соединения обмоток;
- измерение сопротивления обмоток постоянному току;
- измерение сопротивления изоляции;
- испытание электрической прочности изоляции обмоток повышенным напряжениемпромышленной частоты;
- пробный пуск электродвигателя;
- проверку работы электродвигателя на холостом ходу и под нагрузкой.

После окончания всех пусконаладочных работ составляют протокол испытаний и дают заключение о пригодности электродвигателя для длительной эксплуатации.

**Задание**

Составить инструкционную карту на проверку асинхронного двигателя (7 испытаний) Таблица 5.

| Наименование этапа | Содержание операции | Техническая документация | Электрическая схема |
|---|---|---|---|
| 1. Внешний осмотр. | | В соответствии с ПУЭ, ПТЭЭП, отраслевые требования, региональные требования, типовой объем работ по предприятию | |
| 2. Проверка схемы соединения обмоток. | | | |

## Практическая работа 4

Составление инструкционных карт на проверку силового трансформатора.

**Цель работы:** научиться составлять инструкционные карты на проверку силового трансформатора.

**Теоретические основы**

Пусконаладочные испытания предназначены для проверки основных технических данных трансформатора и отдельных его узлов перед включением трансформатора в эксплуатацию, а также выявления скрытых неисправностей.

В объем пусконаладочных испытаний входят:

1) измерение потерь холостого хода при малом однофазном возбуждении;
2) измерение сопротивления обмоток;
3) измерение коэффициента трансформации;
4) проверка группы соединения обмоток;
5) испытание изоляции повышенным напряжением.

При производстве ПНР необходимо соблюдать определенную последовательность в выполнении перечисленных испытаний.

**Задание**

Составить инструкционную карту на проверку силового трансформатора (5 испытаний)

**Таблица 6.**

| Наименование этапа | Содержание операции | Техническая документация | Электрическая схема |
|---|---|---|---|
| 1. Измерение потерьхолостого хода при малом однофазном возбуждении | | В соответствии сПУЭ, ПТЭЭП, отраслевые требования, региональные требования, типовой объем работ по предприятию | |
| | | | |

**Практическая работа 5.**

Приборы и приспособления для проверки качества контактов.

**Цель работы:** знать устройство и принцип работы приборов и приспособлений дляпроверки качества контактов, уметь применять.

**Теоретические основы**

**Электрические испытания**

**Многопредельный микроомметр М246** - логометрический прибор с оптическим указателем, предназначен для измерения на постоянном токе сопротивлений от 2 мкОм до 1Ом. Питание прибора осуществляется от аккумулятора напряжением 2,5 В или полупроводникового выпрямителя от сети 220—127 В.

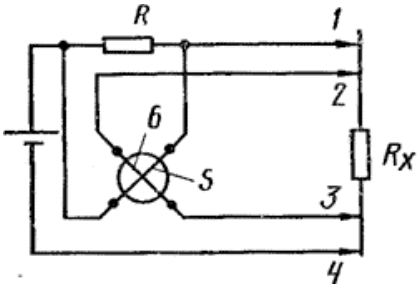



Рис. 5. Микроомметр М246:

1—4 — щупы, 5 и 6— рамки, $R_X$ — измеряемое сопротивление, R — эталонное сопротивление

При подключении токовых щупов 1 и 4 и подаче питания через измеряемое сопротивление $R_X$ будет протекать ток, причем падение напряжения на эталонном сопротивлении R, включенном в токовую цепь, подводится к рамке 5 логометра, создающей противодействующий момент. При подключении потенциальных щупов 2 и 3 к измеряемому сопротивлению $R_X$ падение напряжения на нем будет подводиться к рамке 6 логометра, создающей основной вращающий момент.

**Прибор для испытания контактов методом падения напряжения**

Прибором можно измерять падение напряжения на контактах проводов линии электропередачи ЛЭП и ошиновке ОРУ при напряжении до 220 кВ. Пределы измерений: 5—25—125 мВ для устройств напряжением до 110 кВ и 10—25—62,5 мВ для устройств напряжением 220 кВ и выше. При пусконаладочных работах прибором удобно пользоваться в процессе пусковых испытаний (испытаний под рабочим напряжением при токе нагрузки).

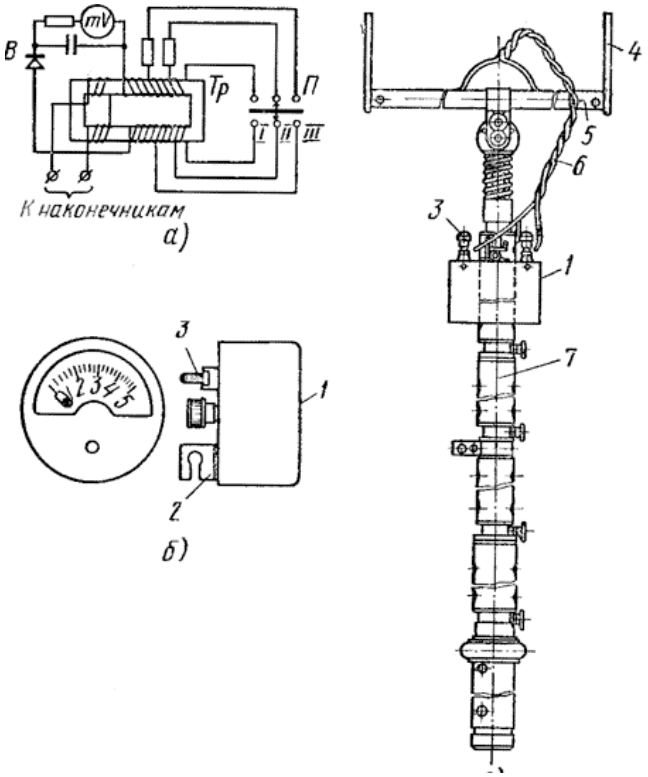



**Рис. 6.** Прибор для проверки контакта методом падения напряжения: а — принципиальная схема, б — внешний вид, в -установленный на изолирующей штанге;
1-корпус, 2 — скоба, 3 — зажимы, 4 — наконечник, 5 — бакелитовая трубка, 6 — провод, 7 — штанга; В — выпрямитель, П —переключатель.

Прибор для испытания контактов методом падения напряжения содержит повышающий трансформатор Тр, первичная обмотка которого подключается к испытываемому контакту, а вторичная через выпрямитель В ипереключатель пределов измерения П— к милливольтметру mV. Все детали смонтированы в небольшом корпусе 1. Прибор с помощью скоб 2 крепится на штанге7, причем зажимы 3 прибора соединяют с проводами 6, пропущенными внутри бакелитовых трубок 5 и припаянными к ножевым наконечникам

## Измерение температуры контактов.

Температуру контактов можно измерять обычными средствами, применяемыми при испытании электрооборудования: термопарами и термометрами сопротивления (реже жидкостными термометрами).

Чувствительный элемент измерительного прибора должен плотно прилегать к контролируемому участку, для чего термопары и термометры сопротивления можно наклеивать на соответствующие участки и закрывать медной фольгой. Головки жидкостных термометров следует обернуть несколькими слоями станиоли, плотно прикрепив к контролируемому участку, а снаружи прикрыть теплоизоляционным материалом.

Электротермометр для измерения температуры контактов - мост, одним плечом которого служит малогабаритный медный термометр сопротивления. К одной диагонали моста подключен источник постоянного тока . В другую диагональ включен микроамперметр 2.

Чтобы можно было измерять температуру контактов и токоведущих частей, находящихся в работе, прибор 4 и измерительную головку 5, содержащую термометр-сопротивление 3, устанавливают на изолирующей части штанги 6.

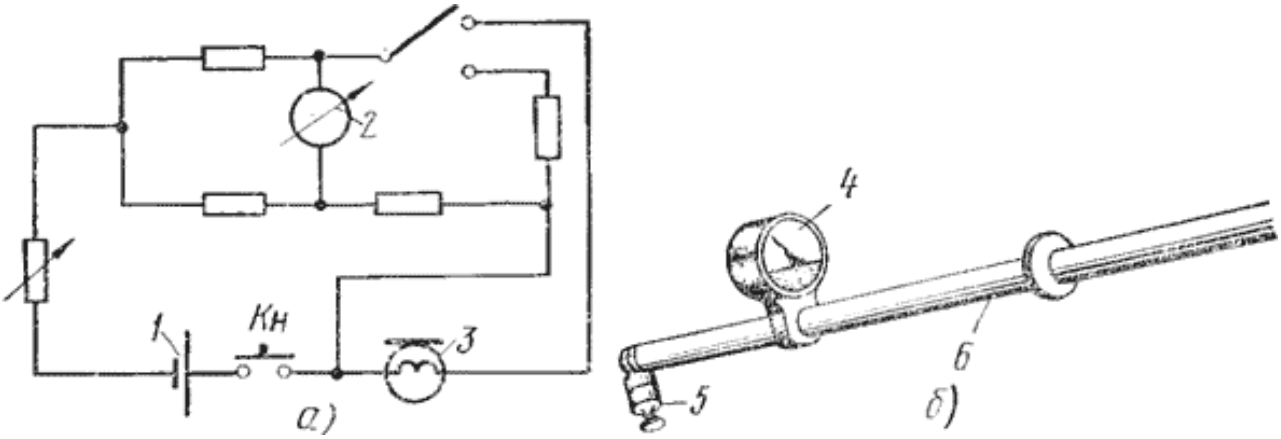



**Рис. 7**. Электротермометр для измерения температуры контактов:
а — схема, 6 — Электротермометр, установленный на изолирующей штанге; 1 — источникпостоянного тока, 2 — микроамперметр, 3— термометр сопротивления. 4 — прибор, 5 — измерительная головка, б — штанга

Электротермометр градуируют на температуры от 0 до 150° С. Показания прибора снимают через некоторое время после прижатия измерительной головки к контролируемому контакту и прогрева ее, когда стрелка прибора перестанет перемещатьсяи установится у соответствующего деления шкалы. Измерения выполняют, соблюдая требования техники безопасности при работе в действующих электроустановках.

**Задание.** Заполнить таблицу

Таблица 7.

| **Испытание контактов** | **Оборудование, инструменты** | **Электрическая схема** |
|---|---|---|
| **электрические** | | |
| **тепловые** | | |
| **механические** | | |
| | | |

**Практическая работа 6.**
Анализ схем фазировки кабелей

**Цель работы**: научиться анализировать схемы фазировки кабелей.

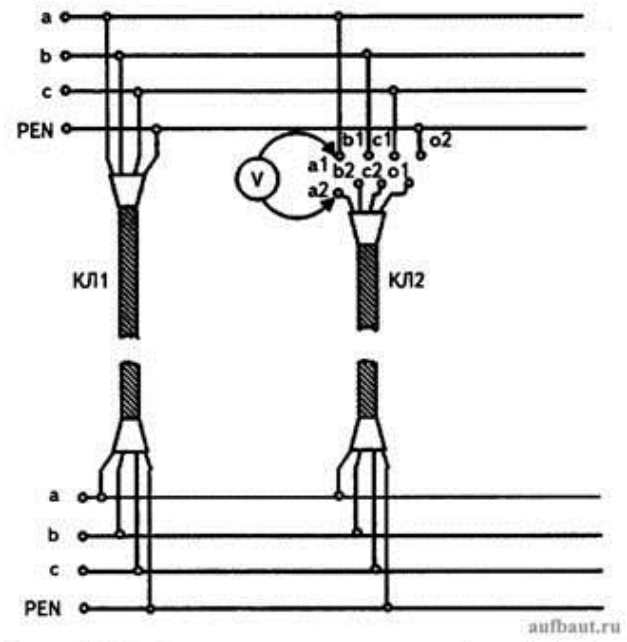



**Рис. 8**. Схема измерений при фазировке силового кабеля0,4 кВ. КЛ2, подключаемого на параллельную работу с кабелем КЛ1.

**Теоретические основы**

Фазировка кабелей - определение выводов, соответствующих фазам питающего напряжения. С этойцелью с одного конца на кабель подают рабочее напряжение, а на другом конце производят измерения напряжений.

Фазировка при напряжении 0,4 кВ. производится спомощью вольтметра с пределом 2Uф, где Uф - фазное напряжение.

В первую очередь проверяют правильность маркировки нулевой жилы следующим образом: напряжения между этой жилой и остальными должны быть примерно одинаковыи близки к 220 В, а между любыми другими жилами близки к 380 В. После определения нулевой жилы ее можно подключить с помощью временной перемычки к нулевой шине PEN или к земле.

Затем определяются синфазные выводы a1 и a2 , b1 и b2, c1 и c2, напряжения между которыми близки к нулю. Выявленные таким образом выводы a2, b2, c2 маркируются. На этом фазировка кабеля заканчивается.

**Фазировка параллельно включенных кабелей**

Если в цепи постоянного (или переменного) тока имеются параллельно включенные кабели, то правильность их включения должна быть проверена до подачи на них напряжения. Для этого необходимо убедиться в том, что между разными полюсами (фазами) нет короткого замыкания и что подсоединение обоих

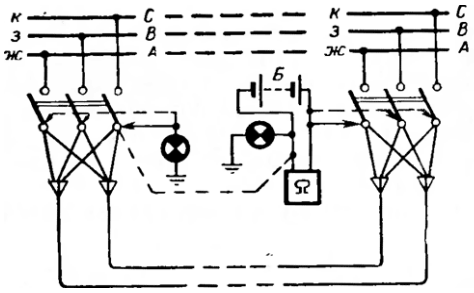


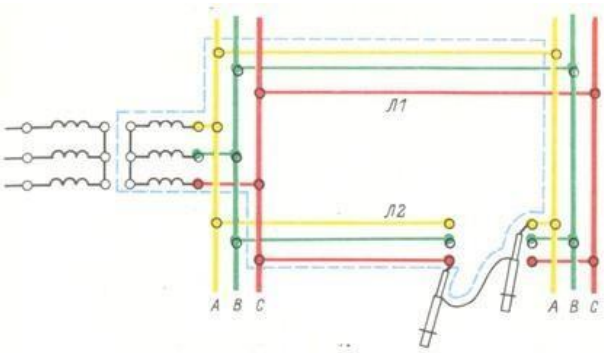

**Рис. 9** Фазировка кабелей при отсутствии напряжения.

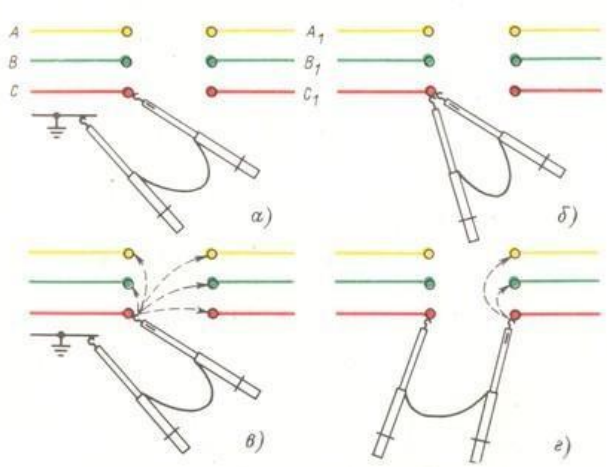
концов кабелей к шинам произведено в соответствии с маркировкой или расцветкой шин.
Проверка производится прозвонкой между полюсами (фазами) и каждого полюса (фазы) на землю при помощи батарейки с лампочкой 3,5 в или омметра по схеме на рис. 9.

**Задание**

Описать схему фазировки линий, имеющих непосредственную электрическую связь (не через трансформатор) (рис.10.1)

2. Описать последовательность операций при фазировке линий 10 кВ. указателем УВН.а - проверка исправности указателя при встречном включении;
б - то же при согласном; в - проверка наличия напряжения; г - фазировка. (рис.10.2)



## Практическая работа 7.

Схема испытаний кабелей повышенным напряжением постоянного тока.

**Цель работы:** уметь анализировать схемы испытания кабеля повышенным напряжением.

### Теоретические основы

В целях снижения повреждаемости кабельных линий под рабочим напряжением правила технической эксплуатации рекомендуют проводить периодические испытания повышенным напряжением. В процессе испытания ослабленное место изоляции кабеля пробивается и, следовательно, снижается вероятность повреждения кабеля под рабочим напряжением. Испытания кабельных линий проводятся повышенным напряжением постоянного тока, т.к.

- возможно применение негромоздких испытательных установок большой мощности.
- Частичные разряды в неповрежденной изоляции при испытаниях развиваются слабо,
- незначительны потери активной мощности и тепловыделение.

Кабели 3 - 10 кВ. с резиновой изоляцией испытывают напряжением $2U_Н$, кабели с бумажной изоляцией и вязкой пропиткой с рабочим напряжением до 10 кВ. испытывают напряжением $(5\text{-}6)U_Н$, а с рабочим напряжением 20 - 35 кВ. - напряжением $(4 - 5)U_Н$.

Продолжительность испытания каждой фазы составляет 5 мин.

Перед испытанием силового кабеля повышенным напряжением выпрямленного тока

- необходимо произвести его осмотр и протереть воронки от пыли и грязи. Если во время осмотра видны дефекты изоляции или наружная поверхность кабеля сильно загрязнена, топриступать к испытаниям запрещено.

-Температура окружающего воздуха должна быть только положительной.

-Непосредственно перед испытанием кабеля повышенным напряжением необходимо измерить сопротивление его изоляции.

### Схема испытания кабеля повышенным напряжением

Повышенное выпрямленное напряжение прикладывается к каждой жиле силового кабеля поочередно. Во время испытания другие жилы кабеля и металлические оболочки (броня, экраны) должны быть заземлены. В этом случае проверяется электрическая прочность изоляции между жилой и землей, а также относительно других фаз.

Силовой кабель необходимо полностью отключить от электрооборудования или ошиновки, и развести жилы на расстояние более 15 см друг от друга.

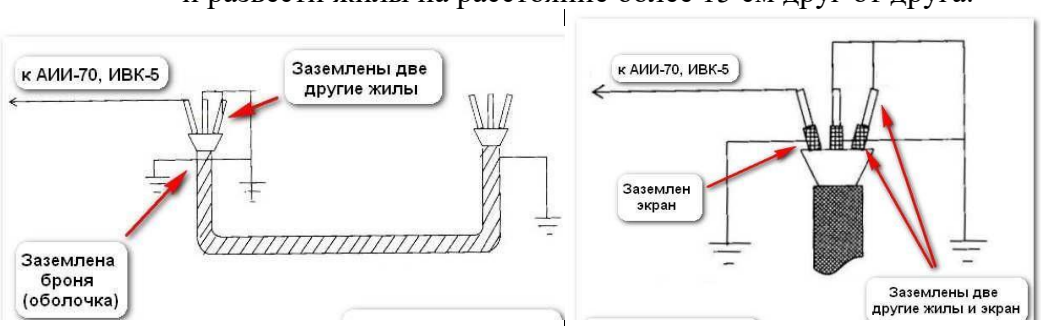



**Рис. 11.** а - Схема испытания кабеля повышенным напряжением, б- Схема испытаниякабеля повышенным напряжением с экраном

**Задание**

1.Начертить схему испытания кабеля повышенным напряжением. (рис.12)

2. Описать назначение каждого элемента схемы испытания кабеля повышеннымнапряжением.

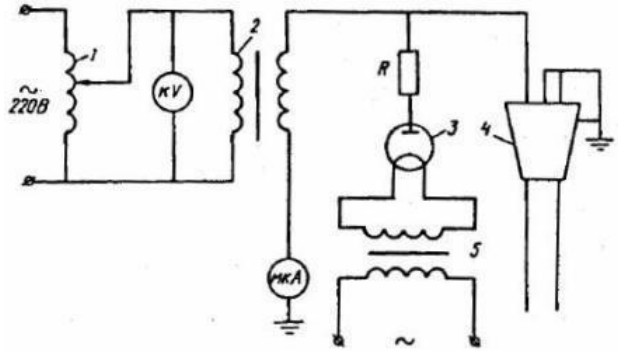



**Рис.12.** Схема испытания кабеля повышенным напряжением

**Практическая работа 7.**

Схема испытаний кабелей повышенным напряжением постоянного тока

**Цель работы**: уметь анализировать схемы испытания кабеля повышенным напряжением.

**Теоретические основы.**

В целях снижения повреждаемости кабельных линий под рабочим напряжением правила технической эксплуатации рекомендуют проводить периодические испытания повышенным напряжением. В процессе испытания ослабленное место изоляции кабеля пробивается и, следовательно, снижается вероятность повреждения кабеля под рабочим напряжением. Испытания кабельных линий проводятся повышенным напряжением постоянного тока, т.к.

- возможно применение негромоздких испытательных установок большой мощности.
- Частичные разряды в неповрежденной изоляции при испытаниях развиваются слабо,
- незначительны потери активной мощности и тепловыделение.

Кабели 3 - 10 кВ. с резиновой изоляцией испытывают напряжением $2U_Н$, кабели с бумажной изоляцией и вязкой пропиткой с рабочим напряжением до 10 кВ. испытывают напряжением (5-6) $U_Н$, а с рабочим напряжением 20 - 35 кВ. - напряжением (4 - 5) $U_Н$.

Продолжительность испытания каждой фазы составляет 5 мин.

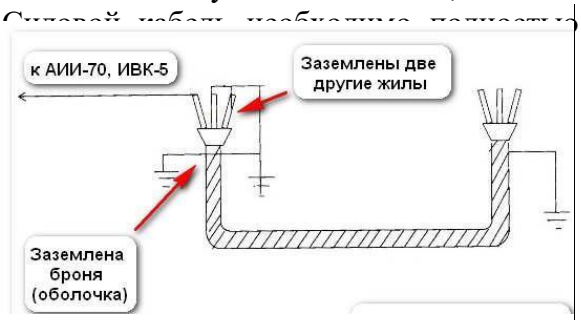
Перед испытанием силового кабеля повышенным напряжением выпрямленного тока необходимо произвести его осмотр и протереть воронки от пыли и грязи. Если во время осмотра видны дефекты изоляции или наружная поверхность кабеля сильно загрязнена, топриступать к испытаниям запрещено.

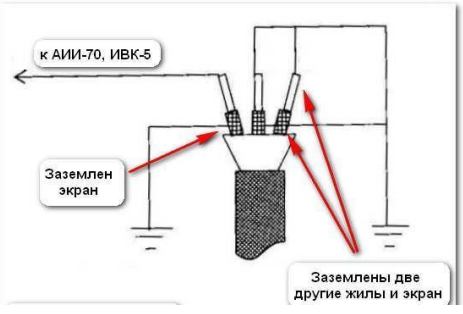
- Температура окружающего воздуха должна быть только положительной.
- Непосредственно перед испытанием кабеля повышенным напряжением необходимо измерить сопротивление его изоляции.

Схема испытания кабеля повышенным напряжением

Повышенное выпрямленное напряжение прикладывается к каждой жиле силового кабеля поочередно. Во время испытания другие жилы кабеля и металлические оболочки (броня, экраны) должны быть заземлены. В этом случае проверяется электрическая прочность изоляции между жилой и землей, а также относительно других фаз.

Силовой кабель необходимо полностью [illegible] ния или




ошиновки,и развести жилы на расстояние более 15 см друг от друга.

**Рис. 11. а** - Схема испытания кабеля повышенным напряжением, б- Схема испытания кабеля повышенным напряжением с экраном

**Задание**

1. Начертить схему испытания кабеля повышенным напряжением. (рис.12)
2. Описать назначение каждого элемента схемы испытания кабеля повышеннымнапряжением.

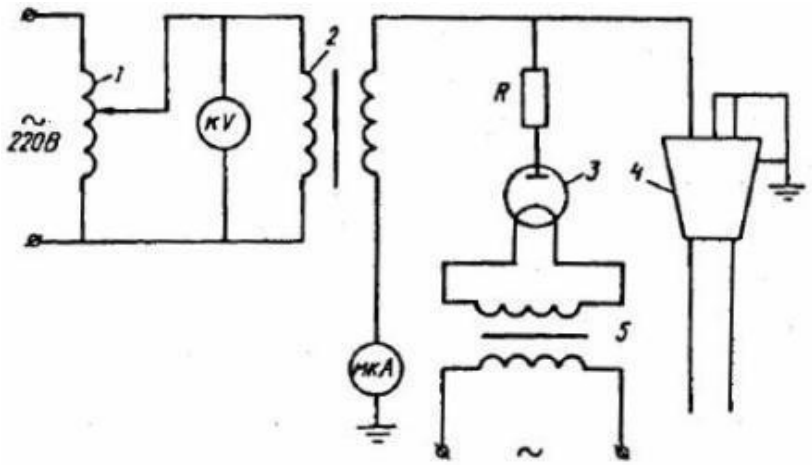



**Рис.12.** Схема испытания кабеля повышенным напряжением

## Практическая работа 8. Расчет сопротивления заземлителей

**Цель работы:** овладение навыками расчета сопротивления заземлителей.

### Теоретические основы

Заземление служит для снижения напряжения прикосновения до безопасной величины. Благодаря заземлению опасный потенциал уходит в землю тем самым, защищаячеловека от поражения электрическим током.
Величина тока стекания в землю зависит от сопротивления заземляющего контура. Чем сопротивление будет меньше, тем величина опасного потенциала на корпусеповрежденной электроустановки будет меньше.

Заземляющие устройства должны удовлетворять возложенным на них определеннымтребованиям, а именно величины сопротивление растекания токов и распределения опасного потенциала.

Расчет защитного заземления сводится **к** определению сопротивления растекания токазаземлителя. Это сопротивление зависит от размеров и количества заземляющих проводников, расстояния между ними, глубины их заложения и проводимости грунта.

**Задание**

Произвести расчет защитного заземления.Исходные данные для расчета заземления

1. Основные условия, которых необходимо придерживаться при сооружении заземляющихустройств это размеры заземлителей.

1.1. В зависимости от используемого материала (уголок, полоса, круглая сталь) минимальные размеры заземлителей должны быть не меньше:

а) полоса 12х4 – 48 мм2; б) уголок 4х4;
в) круглая сталь – 10 мм2;
г) стальная труба (толщина стенки) – 3.5 мм.

Минимальные размеры арматуры применяемые для монтажа заземляющих устройств

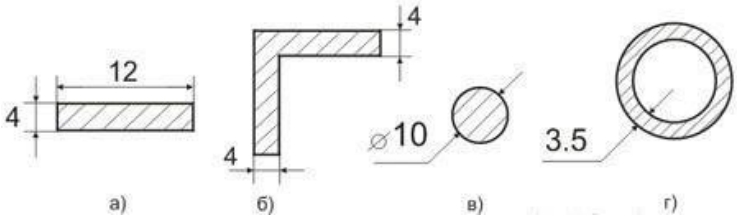



**Рис.13**. Материалы заземлителей

1.2. Длина заземляющего стержня должна быть не меньше 1.5 – 2 м.

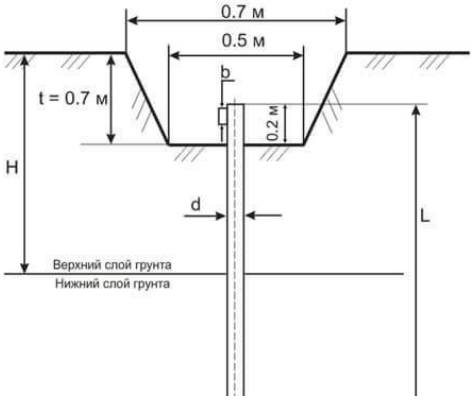



**Рис.14**. Заземляющий стержень

1.3. Расстояния между заземляющими стержнями берется из соотношения их длины, то есть: a = 1xL; a = 2xL; a = 3xL.

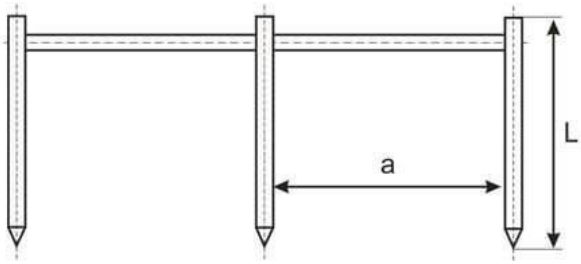



**Рис. 15.** Расстояние между заземляющими стержнями

В зависимости от позволяющей площади и удобства монтажа заземляющие стрежни можно размещать в ряд, либо в виде какой ни будь фигуры (треугольник, квадрат и т.п.).

**Цель расчета защитного заземления.**

Основной целью расчета заземления является определить число заземляющих стержней и длину полосы, которая их соединяет.

**Пример расчета заземления**

Сопротивление растекания тока одного вертикального заземлителя (стержня):

$$R_0 = \frac{\rho_{экв}}{2\pi \cdot L}\left(\ln\left(\frac{2L}{d}\right) + 0.5\ln\left(\frac{4T+L}{4T-L}\right)\right)$$

где – $\rho_{экв}$ - эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом·м; L – длина стержня, м; d –его диаметр, м; T – расстояние от поверхности земли до середины стержня, м.

В случае установки заземляющего устройства в неоднородный грунт (двухслойный), эквивалентное удельное сопротивление грунта находится по формуле:

$$\rho_{экв} = \frac{\Psi \cdot \rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L}{\left(\rho_1\left(L - H + t_г\right) + \rho_2\left(H - t_г\right)\right)}$$

где – Ψ - сезонный климатический коэффициент (таблица 2); ρ1, ρ2 – удельное сопротивления верхнего и нижнего слоя грунта соответственно, Ом·м (таблица 1); H – толщина верхнего слоя грунта, м; t - заглубление вертикального заземлителя (глубина траншеи) t = 0.7 м.

Так как удельное сопротивление грунта зависит от его влажности, для стабильности сопротивления заземлителя и уменьшения на него влияния климатических условий, заземлитель размещают на глубине не менее 0.7 м.

Таблица 8. Удельное сопротивление грунта

| Грунт | Удельное сопротивление грунта, Ом·м |
|---|---|
| Торф | 20 |
| Почва (чернозем и др.) | 50 |
| Глина | 60 |
| Супесь | 150 |
| Песок при грунтовых водах до 5 м | 500 |
| Песок при грунтовых водах глубже 5 м | 1000 |

Заглубление горизонтального заземлителя можно найти по формуле:

$$T = \left(\frac{L}{2}\right) + t$$

Монтаж и установку заземления необходимо производить таким образом, чтобы заземляющий стержень пронизывал верхний слой грунта полностью и частично нижний.

Таблица 9. Значение сезонного климатического коэффициента сопротивления грунта

| **Тип заземляющих электродов** | **Климатическая зона** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV |
| Стержневой (вертикальный) | 1.8 ÷ 2 | 1.5 ÷ 1.8 | 1.4 ÷ 1.6 | 1.2 ÷ 1.4 |
| Полосовой (горизонтальный) | 4.5 ÷ 7 | 3.5 ÷ 4.5 | 2 ÷ 2.5 | 1.5 |
| | Климатические признаки зон | | | |
| Средняя многолетняя низшая температура (январь) | от -20+15 | от -14+10 | от -10 до 0 | от 0 до +5 |
| Средняя многолетняя высшая температура (июль) | от +16 до +18 | от +18 до +22 | от +22 до +24 | от +24 до +26 |

Количество стержней заземления без учета сопротивления горизонтального заземления находится по формуле:

$$n_0 = \frac{R_0 \cdot \psi}{R_н}$$

Rн - нормируемое сопротивление растеканию тока заземляющего устройства, определяется исходя из правил ПТЭЭП.

Таблица 10. Наибольшее допустимое значение сопротивления заземляющих устройств (ПТЭЭП)

| **Характеристика электроустановки** | **Удельное сопротивление грунта ρ, Ом·м** | **Сопротивление заземляющего устройства, Ом** |
|---|---|---|
| Искусственный заземлитель к которому присоединяется нейтрали генераторов и трансформаторов, а также повторные заземлители нулевого провода (в том числе во вводах помещения) в сетях с заземленной нейтралью на напряжение, В: | | |
| 660/380 | до 100 | 15 |
| | свыше 100 | 0.5·ρ |
| 380/220 | до 100 | 30 |
| | свыше 100 | 0.3·ρ |
| 220/127 | до 100 | 60 |
| | свыше 100 | 0.6·ρ |

Как видно из таблицы нормируемое сопротивления для нашего случая должно быть не больше 30 Ом. Поэтому Rн принимается равным Rн = 30 Ом.
Сопротивление растекания тока для горизонтального заземлителя:

$$R_г = 0.366\left(\frac{\rho_{экв}\cdot\psi}{L_г\cdot\eta_г}\right)\cdot\lg\left(\frac{2\cdot L_г^2}{b\cdot t}\right)$$

$L_г$, b – длина и ширина заземлителя; Ψ – коэффициент сезонности горизонтального заземлителя; $\eta_г$ – коэффициент спроса горизонтальных заземлителей (таблица 4).

Длину самого горизонтального заземлителя найдем исходя из количества заземлителей: $L_г = a\cdot(n_0 - 1)$ - в ряд; $L_г = a$ - по контуру.

a – расстояние между заземляющими стержнями.
Определим сопротивление вертикального заземлителя с учетом сопротивления растеканию тока горизонтальных заземлителей:

$$R_в = \frac{R_г\cdot R_н}{(R_г - R_н)}$$

Полное количество вертикальных заземлителей определяется по формуле:

$$n = \frac{R_0}{R_в\cdot\eta_в}$$

$\eta_в$ – коэффициент спроса вертикальных заземлителей (таблица 11).

Таблица11. Коэффициент использования заземлителей

| Для горизонтальных заземлителей | | | | Для вертикальных заземлителей | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Число электродов | По контуру | | | Число электродов | По контуру | | |
| | Отношение расстояния между электродами к их длине a/L | | | | Отношение расстояния между электродами к их длине a/L | | |
| | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 0.45 | 0.55 | 0.65 | 4 | 0.69 | 0.78 | 0.85 |
| 5 | 0.4 | 0.48 | 0.64 | 6 | 0.62 | 0.73 | 0.8 |
| 8 | 0.36 | 0.43 | 0.6 | 10 | 0.55 | 0.69 | 0.76 |
| 10 | 0.34 | 0.4 | 0.56 | 20 | 0.47 | 0.64 | 0.71 |
| 20 | 0.27 | 0.32 | 0.45 | 40 | 0.41 | 0.58 | 0.67 |
| 30 | 0.24 | 0.3 | 0.41 | 60 | 0.39 | 0.55 | 0.65 |
| 50 | 0.21 | 0.28 | 0.37 | 100 | 0.36 | 0.52 | 0.62 |
| 70 | 0.2 | 0.26 | 0.35 | - | - | - | - |
| 100 | 0.19 | 0.24 | 0.33 | - | - | - | - |
| Число электродов | В ряд | | | Число электродов | В ряд | | |
| | Отношение расстояния между электродами к их длине a/L | | | | Отношение расстояния между электродами к их длине a/L | | |
| | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 |
| 4 | 0.77 | 0.89 | 0.92 | 2 | 0.86 | 0.91 | 0.94 |
| 5 | 0.74 | 0.86 | 0.9 | 3 | 0.78 | 0.87 | 0.91 |
| 8 | 0.67 | 0.79 | 0.85 | 5 | 0.7 | 0.81 | 0.87 |
| 10 | 0.62 | 0.75 | 0.82 | 10 | 0.59 | 0.75 | 0.81 |
| 20 | 0.42 | 0.56 | 0.68 | 15 | 0.54 | 0.71 | 0.78 |
| 30 | 0.31 | 0.46 | 0.58 | 20 | 0.49 | 0.68 | 0.77 |
| 50 | 0.21 | 0.36 | 0.49 | - | - | - | - |
| 65 | 0.2 | 0.34 | 0.47 | - | - | - | - |

Коэффициент использования показывает как влияют друг на друга токи растекания содиночных заземлителей при различном расположении последних. При соединении параллельно, токи растекания одиночных заземлителей оказывают взаимное влияние друг на друга, поэтому чем ближе расположены друг к другу заземляющие стержни тем общее сопротивление заземляющего контура больше.

Полученное при расчете число заземлителей округляется до ближайшего большего

## Практическая работа 9.

Анализ схем измерения сопротивления заземлителей.

**Цель работы:** научиться анализировать схемы измерения сопротивления заземлителей

**Теоретические основы**

Измерение сопротивления заземлителей
1. Метод амперметра – вольтметра
При данном методе на испытуемом заземлителе *R* или контуре заземления измеряют падение напряжения при пропускании через него тока *I* .
Сопротивление заземлителя (контура заземления): *R =U/I*

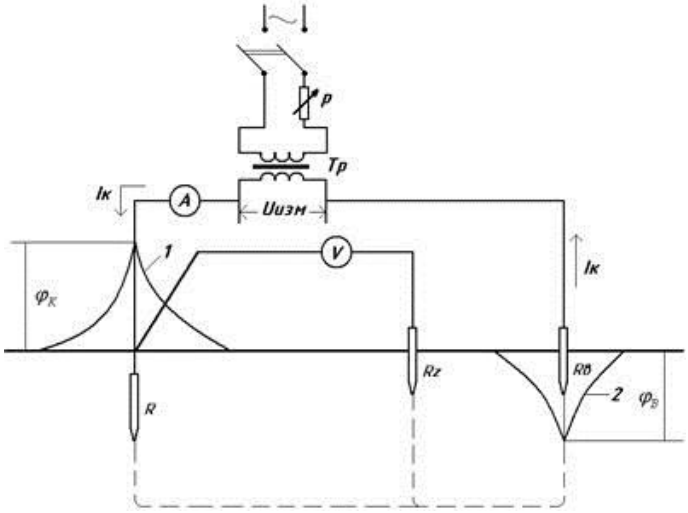



**Рис. 15.** Принципиальная схема измерения сопротивления растеканию заземлителя методом амперметра – вольтметра

R – заземлитель, сопротивление растеканию тока которого измеряется;
Rz – вспомогательный электрод – зонд;
Rв – вспомогательный токовый электрод;
Тр – трансформатор;
Р – реостат,
1 – поле растекания тока заземлителя;
2 – поле растекания тока вспомогательного электрода.

Для измерения нужны два вспомогательных электрода:
-токовый ($R_B$) – для создания цепи тока $I_X$ через этот электрод и испытуемый заземлитель
-потенциальный электрод
-зонд $R_Z$ – для подключения одного из проводов вольтметра к точке земли с нулевым потенциалом (получение в схеме точки с нулевым потенциалом, т.е. точки, в которой ток растекания практически отсутствует).

Эти электроды выполняются обычно из стальных прутков диаметром 12–16 мм и длиной 0,8–1 м с заостренным концом. Глубина погружения в грунт должна быть не менее 500 мм.

Электроды заглубляют на удалении ≈20 метров от контролируемого заземляющего устройства. Во избежание увеличения переходного сопротивления электроды следует забивать в грунт прямыми ударами, стараясь не раскачивать их.

Для повышения точности измерений необходимо применять вольтметр с внутренним сопротивлением превышающим $R_Z$, по крайней мере, в 50 раз.

По цепи, образованной проводами, источником ЭДС и электродами с подземной токопроводящей частью грунта начинает протекать электрический ток, величина которого замеряется амперметром.

На очищенную до чистого металла поверхность контура заземления и контакт основного заземлителя подключается вольтметр. Он замеряет падение напряжения на участке между основным заземлителем и контуром заземления. Разделив значение показания вольтметра на измеренный амперметром ток, можно вычислить общее сопротивление участка всей цепи.

### 1. Метод трех измерений

Суть метода заключается в измерении силы тока и напряжения на каждой паре электродов:
-Между испытуемым заземлителем и зондом.
-Между испытуемым заземлителем и вспомогательным электродом.
-Между зондом и вспомогательным электродом.

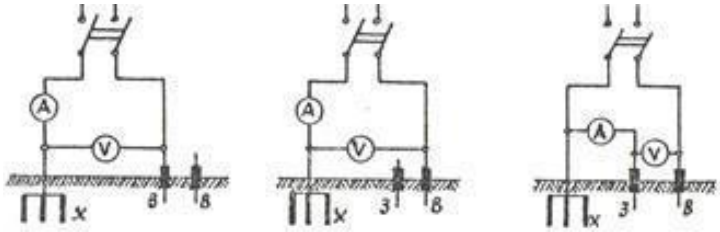



Рис. 16. Принципиальная схема измерения сопротивления методом трех измерений.

Результатом каждого из измерений является сопротивление пары заземлителей растеканию тока:

$R_1 = U_1 / I_1 = R_x + R_з$; $R_2 = U_2 / I_2 = R_x + R_в$;

$R_3 = U_3 / I_3 = R_з + R_в$.

Сопротивление защитного заземления определяют по формуле $R_x = ( R_1 + R_2 - R_3)/2$

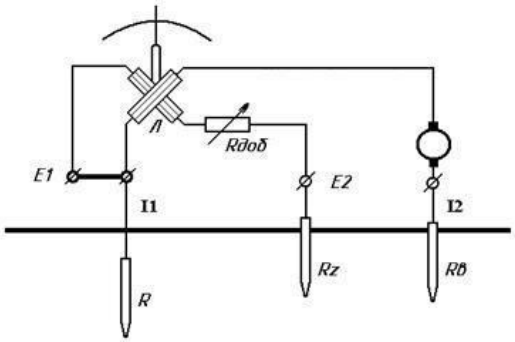



**Рис.17.** Принципиальная схема прибора типа МС-08 для измерения сопротивления заземлений. Г – генератор постоянного тока с ручным приводом; Л – рамки логометра; $R_{доб}$ – добавочный резистор; $I_1$, $I_2$ – токовые зажимы; E1, E2 – зажимы напряжения; R – заземлитель, сопротивление которого измеряется; $R_Z$ – вспомогательный электрод – зонд; $R_В$ – вспомогательный токовый электрод.

## 1. Измерение сопротивления заземлителя прибором МС-08

В приборе применен логометр магнитоэлектрической системы, одна рамка которого постоянного тока (Г), испытуемым заземлителем (R) и вспомогательным токовым электродом ($R_В$), а другая (потенциальная) вместе с последовательно соединенным R. добавочным резистором ($R_{доб}$) подключается к испытуемому заземлителю (R) и электроду – зонду ($R_Z$). Показание логометра пропорционально отношению токов в его рамках или отношению $U_x / I_x$ , т.е. определяемому сопротивлению заземлителя Задание

Заполнить таблицу измерения сопротивления заземлителей.

Таблица 12.

| Метод измерения | Оборудование, инструменты | Электрическая схема |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |

## Практическая работа 10

Анализ схем измерения заземляющих проводников**.** Проверка наличия цепи между заземлителем и заземляющими элементамиэлектроустановок («металлосвязь»)

**Цель работы:** овладение умениями проверки наличия цепи между заземлителем и заземляющими элементами электроустановок

**Теоретические основы**

Металлосвязь (переходное сопротивление) – это величина сопротивления, которая характеризует связь и ее качество в цепи, созданной между объектом, который заземляетсяи заземляющим устройством.

Металлосвязь обеспечивает непрерывность защитных проводников, включаяпроводники главной и дополнительной систем уравнивания потенциалов.

Смысл проверки заключается в измерении переходных сопротивлений всех защитных проводников, проводников заземления и уравнивания потенциалов.

Наличие качественной «металлосвязи» является необходимым условием для обеспечения надёжного срабатывания аппаратов защиты при замыкании фазы на корпус. Переходное сопротивление (металлосвязь) в месте контактного соединения не должно превышать значение 0,05 Ом.

Проверка выполняется на полностью обесточенных объектах при положительной температуре. Измерение металлосвязи проводится при пусконаладочных и профилактических испытаниях с периодичностью не реже 1 раз в 3 года. Конкретные сроки испытаний устанавливает технический руководитель потребителя в соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей главы 3.6.

При коротком замыкании дефекты в металлосвязи (обычно из-за обрыва заземляющего проводника, некачественного монтажа, коррозии) могут привести к увеличению переходного сопротивления и к возникновению разности потенциалов между заземляемой ЭУ и заземлителем. Это напряжение представляет собой опасность для людей, а также вызывает повреждение аппаратуры.

Проверка производится в соответствии с ПУЭ и ПТЭЭП.

Результаты проверки оформляются протоколом установленного образца.

Контакт с главной заземляющей шиной бывает болтовой или с помощью сварки.

Проверка металлосвязи требует точного прибора — миллиомметра, способного измерять величины в 0,01 Ом и менее. Измерение проводится мультиметром, в случае соответствия последнего классу точности и чувствительности.

Начинается проверка и измерение металлосвязи с внешнего осмотра всей установки, основное внимание обращается на:

- Наличие разрывов в заземляющих шинах и проводах. Они могут треснуть, порваться, разрушится коррозией и прочее.
- Качество болтовых соединений. Все болты должны быть надежно протянуты, а шины и кабельные наконечники неподвижны, т.е. не должны шевелиться ни при каких прикладываемых усилиях.
- Качество сварных соединений. Они дополнительно простукиваются хорошими, но не слишком сильными ударами молотка. Это делается с целью обнаружения трещин, главноене повредить исправные узлы.

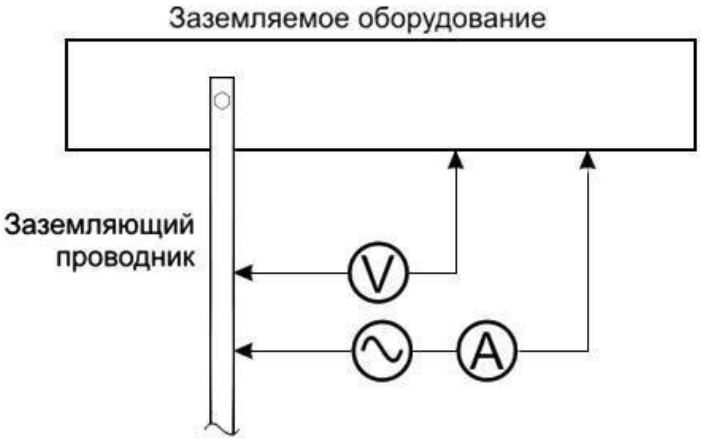



**Рис.18**. Схема измерения сопротивления металлосвязи

Проверка целостности заземления оборудования должна быть выполнена для всего заземляемого оборудования. Измерение сопротивления металлосвязи производят четырехзажимным способом по методу "амперметра-вольтметра" - организуют отдельно токовую и потенциальную цепи. При этом не допускается намотка проводов токовой и потенциальной цепей на одну катушку. Расстояние между токовой и потенциальной цепями при раскладке их по территории электроустановки должно быть более 1 м. Присоединение каждой цепи к точке измерения производят отдельной струбциной.

**Задание**

1. Начертить схему измерения сопротивления металлосвязи
2. Дать описание схемы измерения сопротивления металлосвязи.
3. Описать назначение каждого элемента схемы.

**Практическая работа 11.**

Расчет удельного сопротивления грунта.

**Цель работы**: овладение умениями расчета удельного сопротивления грунта

**Теоретические основы**

Измерить удельное сопротивление земли можно прибором (измерителем заземлений) типа МС-08 методом четырех электродов. Измерение следует проводить в теплое время года. Прибор работает по принципу магнитоэлектрического логометра. Прибор содержит две рамки, одна из которых включается как амперметр, вторая как вольтметр.

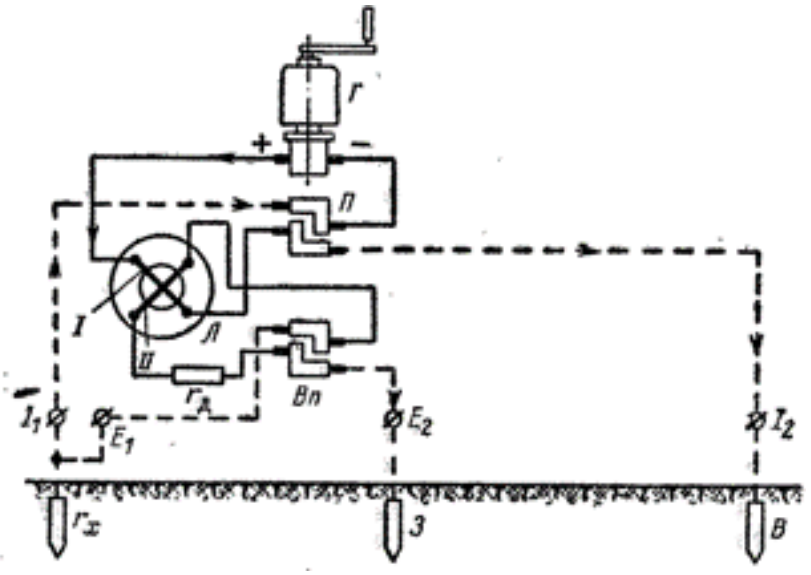



**Рис.19**. Принципиальная схема измерителя заземлений типа МС-07 (МС-08)

Эти обмотки действуют на ось прибора в противоположных направлениях, благодаря чему отклонения стрелки прибора пропорциональны сопротивлению. Шкала прибора градуирована в омах. Источником питания при измерении служит генератор Г постоянного тока, приводимый во вращение от руки. На общей оси с генератором укреплены прерыватель П и выпрямитель Вп.

Если пропускать ток через крайние электроды, то между средними возникает разность напряжений U. Значения U в однородной земле (слое) прямо пропорциональны удельному сопротивлению р и току I и обратно пропорциональны расстоянию, а между электродами: $U = \rho I / 2\pi a$ или $p = 2\pi aU/I = 2\pi aR$, где R — показания прибора.

Чем больше значение а, тем больший объем земли охватывается электрическим полем токовых электродов. Благодаря этому, изменяя расстояние а, можно получить значения удельного сопротивления земли в зависимости от разноса электродов. При однородной земле вычисленное значение ρ не будет изменяться при. изменении расстояния а (изменения могут быть вследствие разной степени влажности). В результате измерений, используя зависимость ρ от расстояния между электродами можно судить о величинах удельных сопротивлений на разной глубине.

Измерение следует производить в стороне от трубопроводов и других конструкций и частей, которые могут исказить результаты

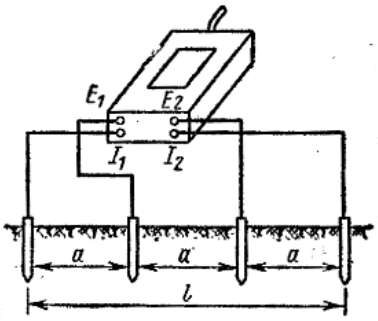



Рис.20. Схема измерения удельного

**Рис.20**. Схема измерения удельного сопротивления землиприбором МС-08

**Задание**

**Расчет удельного сопротивления грунта.**

В землю погружен уголок длиной 3 м. Сопротивление, измеренное прибором МС 08, оказалось равным 30Ом. Тогда можем написать: Ризм = rв l = 30х3 = 90 Ом х м. Измерения желательно производить в двух-трех местах и принимать среднее значение. Пробные электроды следует погружать забивкой или вдавливанием, чтобы создавать плотное соприкосновение с землей; ввертывание стержней для целей измерения не рекомендуется.

Применять аналогичный метод измерений с укладкой в землю полос не следует: метод трудоемок и малонадежен, так как надлежащий контакт полосы с землей после засыпки и трамбовки может быть достигнут только через некоторое время.

Для учета состояния земли во время измерений принимается один из коэффициентов k из табл. 13. Таким образом, удельное сопротивление земли равно: р = k х Ризм

В протоколе указываются состояние земли (влажность) при измерениях и рекомендуемый сезонный коэффициент промерзания или высыхания земли.

Таблица 13. Коэффициенты к измеренным значениям удельного сопротивления земли, учитывающие ее состояние во время измерения

| Электрод | k1 | k2 | k3 |
|---|---|---|---|
| Вертикальный | | | |
| длина 3 м | 1,15 | 1 | 0,92 |
| длина 5 м | 1,1 | 1 | 0,95 |
| Горизонтальный | | | |
| длина 10 м | 1,7 | 1 | 0,75 |
| длина 50 м | 1,6 | 1 | 0,8 |

## Практическая работа 12

Результаты и протокол испытания кабеля повышенным напряжением

**Цель работы**: овладение умениями заполнения протокола испытания кабеля повышенным напряжением

### Теоретические основы

После испытания кабеля повышенным напряжением выпрямленного тока необходимо оформить протокол. Протокол испытания кабеля – важный документ, свидетельствующийо результатах проведенных высоковольтных испытаний, являющийся гарантией их качества и точности.

Протокол необходимо заполнять для получения полной картины проведенных испытаний. Благодаря заполненному протоколу появляется возможность отслеживания динамики произошедших в течение всего периода эксплуатации изменений состояния кабельной линии. Сверяясь с протоколом легко выявить причину возникновения возможного дефекта и предупредить его появление.

В содержание протокола входят следующие обязательные пункты:

- Технические сведения о кабеле (марка, сечение, номинальное напряжение);
- Описание кабельной линии (место пролегания, присоединение, длина);
- Результаты исследований каждой фазы до и после проведения испытаний;
- Сведения по испытанию оболочки кабеля и кабельных муфт;
- Информация об испытательном оборудовании и приборах, с помощью которыхвыполнялись измерения с фиксированием в документе заводского номера;
- Заключение специалиста, который проводил испытания;
- Указывается состояние погодных условий;
- Ссылка на документ, на основании которого производились испытания.
- Подпись ответственного лица с полной расшифровкой фамилии, имени, с указаниемдолжности и группы по электробезопасности.

В протоколе испытаний силового кабеля обязательно указывается номер лицензии, выданной организации, работники которой проводят высоковольтные испытания.

**Задание**

Заполнить протокол испытания кабеля повышенным напряжением по форме, приведенной ниже.

_____
(наименование организации, предприятия)

Свидетельство о регистрации № _____
Действительно до «___» _____200__ г.

Заказчик. _____
Объект:_____
Адрес: _____
Дата проведения измерений:
«___» _____200_ г.

**ПРОТОКОЛ №____**

**Испытание изоляции повышенным напряжением** _____ **тока**
(пост. или перем.)

Измерения проводились устройством (прибором) _____ заводской № _____

дата проверки_____

| № п/п | Наименование объектов испытания | Номинальное напряжение (кВ) | Сопротивление изоляции (МОм) | | Испыт. напр. (кВ) | Продолжительность испыт. (мин) | Результат испытаний |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | до испытания | после испытания | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Испытания провели: _____ _____ _____
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

_____ _____ _____
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

Протокол проверил: _____ _____ _____
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

## МДК.02.02. Контрольно-измерительные приборы

### Практическая работа 1

Перевод внесистемных единиц в Международную систему единицфизических величин.

**Цель работы**: овладение умениями перевода внесистемных единиц измерения физическихвеличин в единицы Международной системы (СИ).

**Теоретические основы**

**Единицы измерения давления.**

Единицей измерения давления в СИ является Паскаль, 1Па=1Н/кв.м. Производные от этой единицы 1 кПа=1000 Па и 1МПа=1000000 Па.

В различных отраслях техники используются следующие единицы: миллиметр ртутного столба (мм.рт.ст или Торр), физическая атмосфера (атм.), техническая атмосфера (1 ат. = 1 кгс/кв.см), бар. В англоязычных странах популярностью пользуется фунт на квадратный дюйм (pounds per square inch или PSI).

Соотношения между этими единицами приведены в таблице 3.

Таблица 15

| Величина | МПа | Бар | мм.рт.ст | Атм. | кгс/кв.см | PSI |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 МПа | 1 | 10 | 7500,7 | 9,8692 | 10,197 | 145,04 |
| 1 бар | 0,1 | 1 | 750,07 | 0,9869 | 1,0197 | 14,504 |
| 1 мм.рт.ст | 133,32Па | 0,00133 | 1 | 0,00136 | 0,001359 | 0,01934 |
| 1 атм | 0,10133 | 1,0133 | 760 | 1 | 1,0333 | 14,696 |
| 1 кгс/кв.см | 0,098066 | 0,98066 | 735,6 | 0,96784 | 1 | 14,223 |
| 1 PSI | 6,8946 кПа | 0,06894 6 | 51,715 | 0,06804 5 | 0,070307 | 1 |

Значение давления может отсчитываться от 0 (абсолютное давление) или от атмосферного (избыточное давление). Если давление измеряется в технических атмосферах, то абсолютное давление обозначается как "ата", а избыточное - как "ати", например 9 ата, 8 ати.

**Единицы измерения температуры.**

Слово «температура» возникло в те времена, когда люди считали, что в более нагретых телах содержится большее количество особого вещества — теплорода, чем в менее нагретых. Поэтому температура воспринималась как крепость смеси вещества тела итеплорода. По этой причине единицы измерения крепости спиртных напитков и температуры называются одинаково — градусами.

Из того, что температура - это кинетическая энергия молекул, ясно, что наиболее естественно измерять её в энергетических единицах (т.е. в системе СИ в джоулях). Однако измерение температуры началось задолго до создания молекулярно-кинетической теории,поэтому практические шкалы измеряют температуру в условных единицах — градусах.

Существует 5 наиболее известных температурных шкал: стоградусная, или шкала Цельсия (ºC), Фаренгейта (ºF), абсолютная, или шкала Кельвина (K), шкала Реомюра(ºR) и шкала Ранкина (ºRa).

**Шкала Кельвина**

Была предложена в 1848 году английским ученым Уильямом Томсоном как более точный способ измерения температуры. По этой шкале нулевая точка, или абсолютный нуль, представляет собой самую низкую температуру, какая только возможна, т. е. некое теоретическое состояние вещества, при котором его молекулы полностью перестают двигаться. это значение было получено путём теоретического изучения свойств газа,находящегося под нулевым давлением. По стоградусной шкале абсолютный нуль, или нуль Кельвина, соответствует -273,15ºС. Следовательно на практике 0ºС может быть приравнен к 273К. До 1968 года единица измерения кельвин (К) именовалась как градус Кельвина (ºК). Шкала применяется в термодинамике.

**Шкала Цельсия**

В 1742 году шведский астроном Андерс Цельсий предложил шкалу, в которой за нуль принималась температура смеси воды и льда, а температура кипения
воды приравнивалась к 100º. За градус принимается сотая часть интервала между этимиреперными точками. Эта шкала более рациональна, чем шкалы Фаренгейта и Реомюра, ишироко используется в науке и быту.

Поскольку температура замерзания и кипения воды недостаточно хорошо определена, в настоящее время шкалу Цельсия определяют через шкалу Кельвина: градус Цельсия равен кельвину, абсолютный ноль принимается за −273,15 °C. Шкала Цельсия практически очень удобна, поскольку вода очень распространена на нашей планете и на ней основана наша жизнь. Ноль Цельсия — особая точка для метеорологии, поскольку замерзание атмосферной воды существенно всё меняет.

**Шкала Фаренгейта**

В Англии и, в особенности, в США используется шкала Фаренгейта. В этой шкале на 100 градусов раздёлен интервал от температуры самой холодной зимы в городе, где жил Фаренгейт, до температуры человеческого тела. Ноль градусов Цельсия, точка замерзания воды на уровне моря оказалась равной **+32º**, а точка кипения воды **+212º**. Градус Фаренгейта равен 5/9 градуса Цельсия.

В настоящее время принято следующее определение шкалы Фаренгейта: это температурная шкала, 1 градус которой (1 °F) равен 1/180 разности температур кипения воды и таяния льда при атмосферном давлении, а точка таяния льда имеет температуру +32 °F. Температура по шкале Фаренгейта связана с температурой по шкале Цельсия (t °C) соотношением t °C = 5/9 (t °F - 32), 1 °F = 5/9 °C. Предложена немецким учёным ГабриэлемФаренгейтом в 1724.

**Шкала Ранкина**

Была предложена шотландским инженером и физиком Уильямом Ранкином. Нуль её совпадает с нулём термодинамической температуры, а по размеру 1ºRa равен 5/9 К. Т. е. принцип тот же, что и в шкале Кельвина, только по размерности шкала Ранкина совпадаетне со шкалой Цельсия, а со шкалой Фаренгейта. Данная система измерения
температуры распространения не получила.

**Шкала Реомюра**

Эта шкала предложена в 1730 году Р. А. Реомюром, который описал изобретённый им спиртовой термометр.

Единица — градус Реомюра (°R), 1 °R равен 1/80 части температурного интервала между опорными точками — температурой таяния льда (0 °R) и кипения воды (80 °R)
1 °R = 1,25 °C.

В настоящее время шкала вышла из употребления, дольше всего она сохранялась воФранции, на родине автора.

Таблица 16

| Пересчёт температуры между основными шкалами | | | |
|---|---|---|---|
| | **Кельвин** | **Цельсий** | **Фаренгейт** |
| **Кельвин (K)** | = K | = C + 273,15 | = (F + 459,67) / 1,8 |
| **Цельсий (°C)** | = K − 273,15 | = C | = (F − 32) / 1,8 |
| **Фаренгейт (°F)** | = K · 1,8 − 459,67 | = C · 1,8 + 32 | = F |

Таблица 17 Сравнение температурных шкал

| | Кельвин | Цельсий | Фаренгейт | Реомюр |
|---|---|---|---|---|
| **Абсолютный ноль** | 0 | −273.15 | −459.67 | −218.52 |
| **Температура таяния смеси Фаренгейта (соли и льда вравных количествах)** | 255.37 | −17.78 | 0 | −14.22 |
| **Температура замерзания воды (нормальныеусловия)** | 273.15 | 0 | 32 | 0 |
| **Средняя температура человеческого тела[1]** | 310.0 | 36.8 | 98.2 | 29.6 |
| **Температура кипения воды (нормальные условия)** | 373.15 | 100 | 212 | 80 |
| **Температура поверхности Солнца** | 5800 | 5526 | 9980 | 4421 |

Формулы перевода шкал Фаренгейта, Кельвина, Реомюра и Ранкина в шкалу Цельсия:

$$°C = 5/9\ (°F - 32°)$$
$$°C = K - 273{,}15°$$
$$°C = 5/4\ °R$$
$$°C = 5/9\ °Ra - 273{,}15°$$

Единицы измерения энергии.

Джо́уль - единица измерения работы, энергии и количества теплоты в Международнойсистеме единиц (СИ). Джоуль равен работе, совершаемой при перемещении точки приложения силы, равной одному ньютону, на расстояние одного метра в направлении действия силы. В электричестве джоуль означает работу, которую совершают силы электрического поля за 1 секунду при напряжении в 1 вольт для поддержания силы тока в1 ампер.

В электротехнике электрическую энергию принято измерять в *кВт·ч.* Киловатт-часравен количеству энергии, потребляемой (производимой)

устройством мощностью один киловатт в течение одного часа. *1 кВт·ч = 1000 Вт · 3600с =3,6 МДж.*

*1 Дж = 1 кг·м²/с² = 1 Н·м = 1 Вт·с.*

*1 Дж = 107 эрг*

*1 Дж ≈ 6,2415·1018 эВ*

*1 МДж = 0,277(7) кВт·ч*

*1 кВт·ч = 3,6 МДж*

*1 Дж ≈ 0,238846 калориям*

Таблица 18. Таблица перевода энергии.

| | **Джоуль** | **Ватт-час** | **Электрон-вольт** | **Калории** |
|---|---|---|---|---|
| **1 Дж = 1 кг·(м/с)$^2$ = 1 Вт·с** | 1 | $2{,}78\cdot10^{-4}$ | $6{,}241\cdot10^{18}$ | 0,239 |
| **1 кВт·ч** | $3{,}6\cdot10^{6}$ | 1000 | $2{,}247\cdot10^{25}$ | $8{,}6\cdot10^{5}$ |
| **1 эВ** | $1{,}602\cdot10^{-19}$ | $4{,}45\cdot10^{-23}$ | 1 | $3{,}827\cdot10^{-20}$ |
| **1 кал** | 4,187 | $1{,}163\cdot10^{-3}$ | $2{,}613\cdot10^{19}$ | 1 |

Часто используются: 1 тыс. кВт·ч = 860 Мкал;  1 тыс. кВт·ч = 3,6 ГДж

**Единицы измерения линейной скорости.**

Метр в секунду **(м/с) -** единица измерения скорости в Международной системе единиц(СИ). Объект, движущийся со скоростью 1 м/с, преодолевает за секунду один метр.

1 м/с = 3,6 км/ч

1 км/ч = 0,277777… м/с

1 ф/с = 0,3048 м/с

Скорость света в вакууме — фундаментальная физическая постоянная, поопределению, *точно* равная 299 792 458 метрам в секунду.

Таблица 19

| **Единицы скорости** | **м/с** | **км/с** | **см/с** | **м/мин** | **км/ч** | **уз** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 м/с | 1 | $10^{-3}$ | 100 | 60 | 3,6 | 1,94 |
| 1 км/с | $10^3$ | 1 | $10^{-5}$ | $6\cdot10^4$ | 3600 | 1940 |
| 1 см/с | 0,01 | $10^5$ | 1 | 0,6 | 0,036 | $1{,}94\cdot10^{-2}$ |
| 1 м/мин | $1{,}67\cdot10^{-2}$ | $1{,}67\cdot10^{-5}$ | 1,67 | 1 | 0,06 | $3{,}24\cdot10^{-2}$ |
| 1 км/ч | 0,278 | $2{,}78\cdot10^{-4}$ | 27,8 | 16,7 | 1 | 0,54 |
| 1 уз | 0,514 | $5{,}14\cdot10^{-4}$ | 51,4 | 30,9 | 1,85 | 1 |

Перевод скорости,выраженной в м/с, в км/ч, осуществляется умножением числа (скорости в метрах в секунду) на 3,6 км/ч. Например, скорость 1,9 м/с, если ее выразить вкм/ч, равна: 1,9 ·3,6 км/ч = 6,84 км/ч.

Перевод скорости,выраженной в км/ч, в м/с, осуществляется умножением числа (скорости в километрах в час) на 0,278 м/с. Например, скорость 3 км/ч равна: 3·0,278 м/с =8,34 м/с.

**Единицы измерения угловой скорости.**

**Угловая скорость** - векторная величина, характеризующая скорость вращения материальной точки вокруг центра вращения. Вектор угловой скоростипо величине равен углу поворота точки вокруг центра вращения в единицу времени.

Единица измерения угловой скорости, принятая в СИ и системе СГС - радианы в секунду(радиан, как и любые единицы измерения угла, - физически безразмерен, поэтому физическая размерность угловой скорости - просто 1/сек).

В технике также используются обороты в секунду, намного реже - градусы в секунду, грады в секунду. Чаще всего используют обороты в минуту - это пошло современ, когда частоту вращения тихоходных паровых машин определяли просто «вручную», подсчитывая число оборотов за единицу времени.

**Оборот в минуту (об/мин, 1/мин, мин$^{-1}$)** - единица измерения частоты вращения: количество полных оборотов совершенных вокруг фиксированной оси. Используется дляизмерения скорости вращения механических компонентов.

Также используется единица оборот в секунду (символ об/с или с$^{-1}$). Обороты в минуту конвертируются в обороты в секунду делением на 60. Обратное преобразование: обороты всекунду умножаются на 60 для перевода в обороты в минуту.

1 об/мин = 1/мин = 1/(60с) = 1/60 об/с ≈ 0,01667 об/с

Ещё одна физическая величина связана с данным понятием: угловая скорость; всистеме СИ она измеряется в **радианах в секунду (рад·с$^{-1}$)**:

1 об/мин = 2π рад·мин$^{-1}$ = 2π/60 рад·с$^{-1}$ = 0,1047 рад·с$^{-1}$ ≈ 1/10 рад·с$^{-1}$

**Практическое задание1**
**вариант**
Рассчитать:

1. ч ? = 10 суток
2. 20 м/с = ? км/ч
3. 314 рад/с = ? об/мин
4. 1000 об/мин = ? об/с
5. 20 уз = ? км/ч
6. 800 мм.рт.ст. =? Па
7. 515 кВт·ч = ? Дж
8. 25°C = ? °F
9. 100 K = ? °C
10. 10°R = ? °C
11. 5 МПА = ? Бар
12. 30 Бар =? мм.рт.ст.

***1* вариант**

Рассчитать:

Рассчитать:

1. 9ч = ? мин
2. ? м/с = 98 км/ч
3. 100 рад/с = ? об/мин
4. 1500 об/мин = ? об/с
5. ? уз = 342 км/ч
6. 584 мм.рт.ст. =? Па
7. 427 кВт·ч = ? Дж
8. 46°C = ? °F
9. 57 K = ? °C
10. ?°R = 38 °C
11. 1265 ПА = ? Бар
12. ? кВт·ч = 809 Дж

**Контрольные вопросы:**

1. Какие единицы измерения давления вы знаете?
2. Перечислите виды температурных шкал.
3. Что такое угловая скорость, в каких единицах она измеряется?
4. В чем отличие понятий «угловая скорость» и скорость вращения?
5. В каких единицах измеряется энергия?
6. Почему электрическую энергию принято измерять в кВт·ч ?

## Практическая работа 2

Решение примеров с применением кратных и дольных единиц физической величины

**Цель работы:** Научиться решать примеры с применением кратных и дольных единиц физической величины.

### Теоретические основы

Приставки вводились в СИ постепенно. В 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ) приняла ряд наименований приставок и соответствующих символов для множителей в пределах от $10^{-12}$ до $10^{12}$. Приставки для $10^{-15}$ и $10^{-18}$ были добавлены XII ГКМВ в 1964 г., а для $10^{15}$ и $10^{18}$ — XV ГКМВ в 1975 г. Последнее по времени дополнение списка приставок состоялось на XIX ГКМВ в 1991 г., когда были приняты приставки для множителей $10^{-24}$, $10^{-21}$, $10^{21}$ и $10^{24}$.

Большинство приставок образовано от слов древнегреческого языка. Дека- от др.- греч. δέκα «десять», гекто- от др.-греч. ἑκατόν) «сто», кило- от др.-греч. χίλιοι «тысяча», мега- отдр.-греч. μέγας, то есть «большой», гига- — это др.-греч. γίγας — «гигантский», а тера- от др.-греч. τέρας, что означает «чудовище». Пета- (др.-греч. πέντε) и экса- (др.- греч. ἕξ) соответствуют пяти и шести разрядам по тысяче и переводятся, соответственно, как «пять» и «шесть». Дольные микро- (от др.-греч. μικρός) и нано- (от др.-греч. νᾶνος) переводятся как «малый» и «карлик». От одного слова др.-греч. ὀκτώ (*októ*), означающего «восемь», образованы приставки иотта ($1000^8$) и иокто ($1/1000^8$).

Как «тысяча» переводится и приставка милли, восходящая к лат. *mille*. Латинские корни имеют также приставки санти — от *centum* («сто») и деци — от *decimus* («десятый»), зетта — от *septem* («семь»). Зепто («семь») происходит от лат. *septem* или от фр. *sept*.

Приставка атто образована от дат. *atten* («восемнадцать»). Фемто восходитк дат. и норв. *femten* или к др.-сканд. *fimmtān* и означает «пятнадцать».

Приставка пико происходит либо от фр. *pico* («клюв» или «маленькое количество»), либо от итал. *piccolo*, то есть «маленький».

**Кратные единицы** — единицы, которые в целое число раз (10 в какой-либо степени) превышают основную единицу измерения некоторой физической величины.
Международная система единиц (СИ) рекомендует следующие десятичные приставки для обозначений кратных единиц:

Таблица 20

| **Десятичный множитель** | **Приставка** | | **Обозначение** | | **Пример** |
|---|---|---|---|---|---|
| | **русская** | **международная** | **русское** | **международное** | |
| **$10^1$** | дека | deca | да | da | дал — декалитр |
| **$10^2$** | гекто | hecto | г | h | гПа — гектопаскаль |
| **$10^3$** | кило | kilo | к | k | кН — килоньютон |
| **$10^6$** | мега | Mega | М | M | МПа — мегапаскаль |
| **$10^9$** | гига | Giga | Г | G | ГГц — гигагерц |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **$10^{12}$** | тера | Tera | Т | T | ТВ — теравольт |
| **$10^{15}$** | пета | Peta | П | P | Пфлопс — петафлопс |
| **$10^{18}$** | экса | Exa | Э | E | ЭБ — эксабайт |
| **$10^{21}$** | зетта | Zetta | З | Z | ЗэВ — зеттаэлектронвольт |
| **$10^{24}$** | иотта | Yotta | И | Y | Иг — иоттаграмм |

**Дольные единицы**, составляют определённую долю (часть) от установленной единицы измерения некоторой величины. Международная система единиц (СИ) рекомендует следующие приставки для обозначений дольных единиц:

Таблица 21

| **Десятичный множитель** | **Приставка** | | **Обозначение** | | **Пример** |
|---|---|---|---|---|---|
| | **русская** | **международная** | **русское** | **международное** | |
| **$10^{-1}$** | деци | deci | д | d | дм — дециметр |
| **$10^{-2}$** | санти | centi | с | c | см — сантиметр |
| **$10^{-3}$** | милли | milli | м | m | мН — миллиньютон |
| **$10^{-6}$** | микро | micro | мк | μ | мкм — микрометр, микрон |
| **$10^{-9}$** | нано | nano | н | n | нм — нанометр |
| **$10^{-12}$** | пико | pico | п | p | пФ — пикофарад |
| **$10^{-15}$** | фемто | femto | ф | f | фс — фемтосекунда |
| **$10^{-18}$** | атто | atto | а | a | ас — аттосекунда |
| **$10^{-21}$** | зепто | zepto | з | z | зКл — зептокулон |
| **$10^{-24}$** | иокто | yocto | и | y | иг — иоктограмм |

**Практическое заданиеПроизвести расчеты. 1 вариант**

22 мА = ? А
68 мкФ = ? нФ
33 кВ = ? В
750 пФ = ? нФ
257 нм = ? км
175 мм = ? км
954 кОм = ? МОм
100 Па = ? МПа
84 мг =? кг
368 зКл = ? Кл

**вариант**

467 А = ? мА
968 нФ = ? мкФ
33,43 кВ = ? МВ
500 нФ = ? пФ
3 Иг = ? кг
1,75 км = ? мм
540 МОм = ? кОм
100 мкА = ? кА
34 кг =? мг
68 гПа = ? МПа

**Контрольные вопросы:**

1. Что называется, кратной единицей?
2. Что называется, дольной единицей?
3. Перечислите кратные единицы.
4. Перечислите наиболее применяемые дольные приставки в СИ.

## Практическая работа 3.

Описание приборов по условным обозначениям на шкалах приборов.

**Цель работы:** Научиться рассчитывать цену деления прибора, показания приборов наразличных отметках.

### Теоретические основы

Средства измерений можно использовать только тогда, когда известны их метрологические характеристики. Обычно указываются *номинальные значения* параметров средств измерений и допускаемые отклонения от них. Сведения о метрологических характеристиках приводятся в технической документации на средства измерений или указываются на них самих. Как правило, реальные метрологические характеристики имеют отклонения от их номинальных значений. Поэтому устанавливают *границы* для отклонений реальных метрологических характеристик от номинальных значений – *нормируют их*.

**Нормируемые метрологические характеристики типа средства измерений** – совокупность метрологических характеристик данного типа средств измерений, устанавливаемая нормативными документами на средства измерений.

**Точностные характеристики средства измерений** – совокупность метрологических характеристик средства измерений, влияющих на погрешность измерения.

К точностным характеристикам относят погрешность средства измерений, нестабильность, порог чувствительности, дрейф нуля и др.

Одной из основных характеристик приборов является чувствительность. Под чувствительностью понимают отношение приращения выходной величина $\Delta Y$ к соответствующему приращению измеряемого параметра $\Delta X$ :

$$S = \Delta Y / \Delta X,$$

где выходная величина $\Delta Y$ - угловое или линейное перемещение указателя, цифровой отсчет или кодовый набор.

Величина, обратная чувствительности: $\boldsymbol{C = 1/S = S^{-1}}$ называется постоянной прибора иопределяет цену деления его шкалы.

S=1/C

**Цена деления** - важная характеристика шкальных измерительных приборов - это изменение измеряемой величины, которому соответствует перемещение указателя на одно деление шкалы. Если чувствительность постоянна в каждой точке диапазона измерения, то шкала называется *равномерной*. При неравномерной шкале чувствительность зависит от значения измеряемого параметра, при этом нормируется наименьшая цена деления шкалы измерительных приборов. У цифровых приборов шкалы в явном виде нет, и на них вместо цены деления указывается цена единицы младшего разряда числа в показании прибора.

**Практические задания Выполнение задания по плану:**

1. Написать мини-сочинение о данном электроизмерительном приборе по условным обозначениям на панели прибора.
2. Начертить электрическую схему включения прибора.
3. Определить цену деления шкалы прибора.
4. Определить чувствительность прибора
5. Определить показания измерений прибора, если стрелка прибора отклонилась на следующие отметки шкалы: 5, 11, 19, 25 (индивидуально для каждого прибора).
. Определить относительные погрешности измерений.
7. Сделать вывод по проделанной работе: анализ полученных результатов вычислений относительных погрешностей, анализ зависимости класса точности прибора от угла отклонения стрелки прибора.

**Пример выполнения задания.**

1. Амперметр магнитоэлектрической системы предназначен для измерения силы тока в цепях переменного тока. Прибор имеет равномерную шкалу с диапазоном измерения от 0 до 5А. Условия эксплуатации прибора: установка амперметра - вертикальная, температура окружающей среды - от -300С до + 500С. Класс точности прибора при нормировании погрешности в процентах от диапазона измерения 1,5. Измерительная цепь прибора изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ.
2. Амперметр включают в цепь последовательно, в разрыв цепи.
3. Цена деления шкалы прибора $C=I_N/N= 5/20= 0,25$ *А/дел.,*
где $I_N$ – нормирующее значение прибора (предел измерения), N- число делений шкалы.

4. Ч
у
в
с
т
в
и
т
е
л
ь
н
о
с
т
ь
п
р
и
б
о
р
а

5. П
о
к
а
з
а
н
и
е
н
а
о
т
м
е
т
к
е

Где 4 - число делений на отметке 5.

На остальных отметках показания определяются аналогично.

6. Относительная погрешность измерения $\delta=\Delta\cdot 100/I_{изм}$,

где Δ- абсолютная погрешность.

Абсолютную погрешность можно выразить через приведенную погрешность, которую выражает класс точности прибора 1,5.

$\gamma=\Delta\cdot 100/X_N \rightarrow \Delta=\gamma\cdot X_N/100= 1,5\cdot 5/100=0,075$ *А.*

$\delta=\Delta\cdot 100/I_{изм}= 0,075\cdot 100/1= 7,5\%$.

На остальных отметках относительная погрешность измерения определяются аналогично.

$_{изм}= I_5 = 4\cdot C = 4\cdot 0,25= 1$ *А,*

$1/C = 1/0,25= 4$ *дел/А.*

7. Вывод. Мы научились определять цену деления шкалы, чувствительность прибора, показания аналоговых электроизмерительных приборов, относительные погрешности в разных точках шкалы.

Относительная погрешность зависит от угла отклонения стрелки при измерении: в последней четверти шкалы значение относительной погрешности – меньшее, значит точность измерения выше. Класс точности прибора не зависит от угла отклонения стрелки при измерении.

**Контрольные вопросы:**

1. Какие требования предъявляются к средствам измерений?
2. Перечислите метрологические характеристики средств измерений.
3. Что такое цена деления шкалы?
4. Что такое чувствительность средства измерения?
5. Что такое диапазон измерений?

## Практическая работа 4.

Составление электрических схем для различных измерений.

**Цель работы:** Научиться составлять электрические схемы для измерений параметров электрической цепи

**Теоретические основы.**

### Измерение тока.

Для измерения тока в цепи служат амперметры, включаемые **последовательно** в цепь, где производится определение величины тока.

Чтобы ток в цепи при включении амперметра не изменился, необходимо сопротивление его обмотки делать очень малым. Для этого обмотку амперметра делают из небольшого числа витков толстой проволоки.

**Измерение напряжения**

Для измерения напряжения употребляются вольтметры. Вольтметры включаются параллельно тому участку цепи, где необходимо измерить напряжение.

Чтобы прибор не потреблял большой ток и не влиял на величину напряжения цепи, обмотка его должна иметь большое сопротивление. Чем больше внутреннее сопротивление вольтметра, тем точнее он будет измерять величину напряжения. Для этого обмотка вольтметра изготовляется из большого числа витков тонкой проволоки.

**Измерение мощности Косвенный метод**

Для измерения мощности постоянного тока достаточно измерить напряжение и ток. Результат определяется по формуле:

$$P = U I$$

Метод амперметра и вольтметра пригоден и для измерения полной мощности, а также активной мощности переменного тока, если $\cos\varphi = 1$.

Мощность в электрической цепи синусоидального тока определяется по формуле:

$$P = U I \cdot \cos_{\varphi},$$

где $U$ и $I$ — действующие значения напряжения и тока; $_{\varphi}$ — угол сдвига фаз между напряжением и током.

Измерение мощности

Измерение мощности осуществляется одним прибором — ваттметром электродинамической системы.

Ваттметр снабжен двумя измерительными элементами в виде двух катушек: последовательной(токовой) и параллельной(напряжения).

Токовая катушка включается в цепь последовательно, подобно амперметру – по ней течет ток, пропорциональный нагрузке.

Катушка напряжения включается параллельно участку цепи, подобно вольтметру, по ней протекает ток, пропорциональный напряжению в сети.

Угол поворота подвижной части электродинамического ваттметра пропорционален произведению тока и напряжения в измерительных катушках:

$$\alpha = k I U = k P,$$ *где k- конструктивный коэффициент*

Рис. 21 Схемы включения ваттметра

На ваттметре начало токовой катушки и катушки напряжения отмечены звездочками, это генераторные зажимы. При измерении мощности эти зажимы включаются со стороны источника энергии.

**Измерение мощности в трехфазных цепях**

В трехфазных цепях для измерения мощности используют один, два и три ваттметра. Если нагрузка симметричная и включена «звездой», то достаточно одного ваттметра. Если в этой же схеме нагрузка несимметрична по фазам, то используются три ваттметра– обмотки напряжения включаются между нулевым и линейным проводами.

Способ одного ваттметра.

Используют для измерения мощности при симметричной нагрузке, соединенной звездой с доступной нулевой точкой).

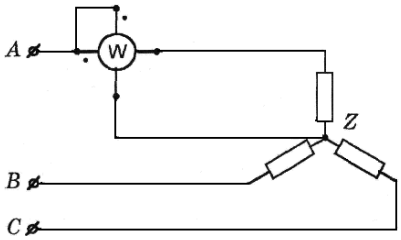



Рис.22

В этом случае общая мощность трехфазной системы равна утроенному показанию ваттметра:

. $$P = 3I_л U_л Cos\varphi$$

Способ трех ваттметров (рис. 23) применяют для измерения мощности при неравномерной нагрузке, соединенной звездой. В каждый из линейных проводов включается токовая цепь одного из ваттметров, а их цепи напряжения включаются между соответствующим линейным проводом и нулевым проводом системы. Активная мощность всей трёхфазной системы равна сумме показаний ваттметров:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$ .

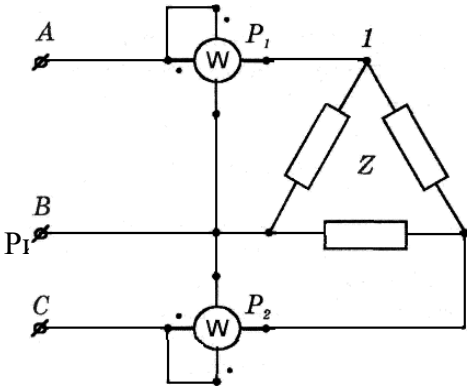



рис. 24

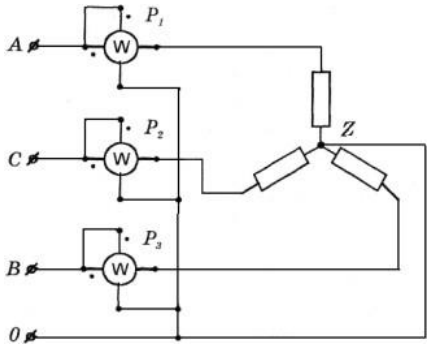


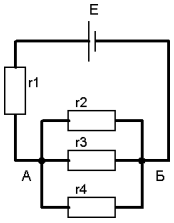

рис.23

<u>Способ двух ваттметров (рис. 24).</u>

Этот способ универсален - он применяется при симметричной и несимметричной нагрузках и при любом типе соединения. Нулевой провод может быть, а может и отсутствовать - он просто не используется. Токовые обмотки ваттметров включают в какие-нибудь две фазы, а обмотки напряжения между третьей (незанятой) фазой и той фазой, в которую включена токовая обмотка данного ваттметра. В этом случае общая мощность трехфазной системы равна алгебраической сумме показаний двух ваттметров.

$$P = P_1 + P_2$$

## Задания.

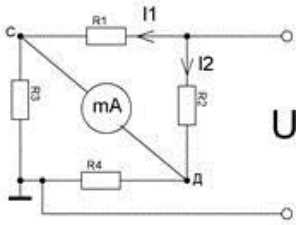



**Задача 1.** Включить в электрическую цепь необходимые приборы для измерения всех токов, напряжений, мощности (рис. 25)

Рис.25

**Задача 2.** Мощность, потребляемая нагрузочным сопротивлением RH = 9,9 Ом, измеряется с помощью вольтметра и амперметра. Вольтметр показывает 120В, амперметр 12А. Считая, что показания приборов не содержат погрешностей, подсчитать мощность, выделяющуюся в сопротивлении RH. Найти погрешность измерения мощности.

Начертить схему измерения.




**Задача 3** Определить значение сопротивления R4 при балансе моста, если R2 = 1 кОм, R3 = 5 кОм. Измерения осуществляются на постоянном токе (рис. 26)

Рис.26

**Задача 4.** Для измерения сопротивления $R_X$ используется магнитоэлектрический омметр, имеющий последовательную схему включения.

Напряжение источника питания E = 3 В, колебание этого напряжения составляет ±1 %, ограничивающее сопротивление $R_0$ = 10 кОм. Определите, в каких пределах должно изменяться значение $R_K$ при установке прибора на нулевую отметку, если для E=3 В $R_K$ = 2 кОм. Магнитоэлектрический миллиамперметр имеет внутреннее сопротивление $R_a$ = 3 кОм.

**Задача 5.** В трехпроводной цепи трехфазного тока необходимо измерить линейные токи, линейное напряжение, коэффициент мощности цепи и расход активной энергии всей цепи. Начертить электрическую схему цепи и включить необходимые приборы.

## Практическая работа 5.
## Расчет добавочных сопротивлений и шунтов. Схемы включения.

**Цель работы:** Научиться рассчитывать значения добавочных сопротивлений и шунтов для расширения пределов измерения электроизмерительных приборов.

Для расширения пределов измерения амперметра в цепях постоянного тока, применяют шунты. **Шунты** - манганиновые пластины или стержни, впаянные в медные или латунные наконечники.

**Шунт включается параллельно амперметру**. Ток I в цепи А разветвляется обратно пропорционально сопротивлениям обмотки амперметра $r_A$ и шунта $r_Ш$: $I_A/I_Ш = r_Ш/r_A$, причем $I_Ш = I - I_A$, откуда сопротивление шунта будет $r_Ш = (I_A r_A)/(I - I_A)$. Отношение токов $I/I_A = n$ - коэффициент шунтирования.

Сопротивление шунта: $r_Ш = r_A/(n-1)$.

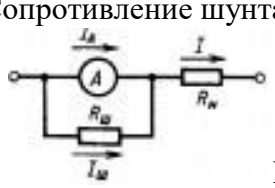



Рис.28

На токи до 100 А шунты помещают внутри прибора (внутренние шунты). На большие токи шунты делаются наружными и присоединяются к амперметрам при помощи проводов, сопротивление которых точно выверено, так как иначе распределение токов будет другим и измерение неправильным.

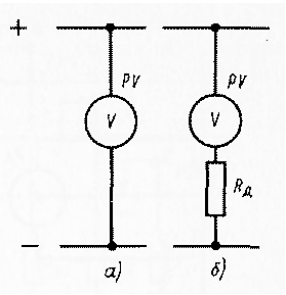



Рис. 29

Для расширения пределов измерения вольтметров применяются **добавочные сопротивления**, включаемые **последовательно** с вольтметрами. В этом случае напряжение сети распределяется между вольтметром и добавочным сопротивлением.

Величину добавочного сопротивления необходимо подбирать с таким расчетом, чтобы в цепи с повышенным напряжением по обмотке вольтметра проходил тот же ток, что и при номинальном напряжении.

Ток, на который рассчитана обмотка прибора, $I_в = U/r_в$.

В цепи с напряжением в $n$ раз большим ток вольтметра с добавочным сопротивлением $r$ должен остаться прежним:

$$I_в = nU/(r_в + r) \text{ или } U/r_в = nU/(r_в + r),$$

отсюда величина добавочного сопротивление равна $r = r_в(n-1)$.

Добавочные сопротивления изготовляют из манганиновой проволоки, намотанной на гетинаксовый или фарфоровый каркас, и помещают внутри прибора или отдельно от него.

**Задача 1.** Милливольтметр с пределом измерения 750мВ необходимо переделать в многопредельный вольтметр с пределами 7,5; 15; 75; 150В. Добавочное сопротивление на пределе 7,5 В составляет 1350 Ом. Определить добавочное сопротивление на каждом из пределов, сопротивление и ток полного отклонения прибора.

**Задача 2.** Вольтметр, номинальное напряжение которого 100 В , а сопротивление обмотки 10000 Ом , необходимо включить в сеть постоянного тока для измерения напряжения до 600 В . Определить величину добавочного сопротивления, которое надо включить последовательно с вольтметром.

**Задача 3.** Определить значение сопротивления шунта, необходимого для расширения предела измерения амперметра с внутренним сопротивлением 5Ом, от номинального его значения 4мА до значения 15А.

**Задача 4.** Определить значение сопротивления шунта для расширения предела измерения амперметра с внутренним сопротивлением 0,58Ом, от номинального значения 5А до значения 150А.

**Задача 5.** К амперметру, рассчитанному на 5А с внутренним сопротивлением 0,6Ом и шкалой на 10дел. подключен шунт с сопротивлением 0,025Ом. При измерении тока стрелка отклонилась на 8дел. Определить ток в цепи, измеренный амперметром.

**Задача 6.** Вольтметр с внутренним сопротивлением 5 кОм включен с добавочным резистором, имеющим сопротивление 45 кОм. Определить во сколько раз увеличился предел измерения вольтметра. Нарисовать схему включения вольтметра с добавочным резистором.

**Задача 7.** Амперметр с внутренним сопротивлением 1,2 Ом включен с шунтом, имеющим сопротивление 0,3 Ом. Определить во сколько раз увеличился предел измерения амперметра. Нарисовать схему включения амперметра с шунтом.

**Задача 8.** Необходимо измерить ток потребителя в пределах 20 – 25 А. Имеется микроамперметр с пределом измерения 200мкА, внутренним сопротивлением 300 Ом и максимальным числом делений 100. Определить сопротивление шунта для расширения предела измерения до 30 А и определить относительную погрешность измерения на отметке 85 делений, если класс точности прибора 1,0.

**Практическая работа 6**

Расчет измерительных трансформаторов тока и напряжения. Схемы включения.

**Цель работы:** Научиться рассчитывать параметры измерительных трансформаторов тока и напряжения для расширения пределов измерения электроизмерительных приборов.

**Трансформатор тока** — трансформатор, предназначенный для преобразования тока до значения, удобного для измерения.

Трансформаторы тока обеспечивают безопасность измерений, изолируя измерительные цепи от первичной цепи с высоким напряжением, часто составляющим сотни киловольт.

Максимальный ток, на который рассчитаны амперметры, электросчетчики прямого включения – 100 А. Токи выше 100 А требуется понизить.

Первичные номинальные токи трансформаторов тока стандартизованы в пределах 5- 15000 А. Для вторичных номинальных токов установлены стандартные значения 5 А и в специальных случаях 1 А.

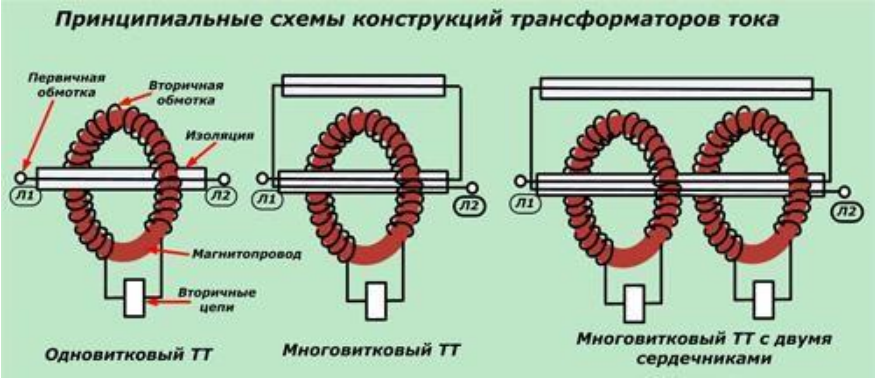



Рис.30

Первичная обмотка, покрытая изоляцией, выполнена прямолинейной шиной Л1-Л2, проходящей через магнитопровод трансформатора, а вторичная намотана витками вокруг него и подключена на нагрузку.

Многовитковый ТТ с двумя сердечниками - два одновитковых ТТ со своими вторичными цепями и через их магнитопроводы пропускается определенное количество витков силовых обмоток. Таким способом не только усиливается мощность, но дополнительно увеличивается количество выходных подключаемых цепочек.

Первичную обмотку, которая содержит небольшое количество витков, включают последовательно в цепь, у которой необходимо измерить ток, а к вторичной, с большим числом витков, подключают амперметр.

Измеряемый ток, протекая по первичной обмотке с маленьким сопротивлением, создает на ней небольшое падение напряжения, которое трансформируется во вторичную обмотку.

Поскольку число витков вторичной обмотки значительно больше, чем у первичной, то на ней получается большее напряжение при меньшем токе. Чем больше ток, тем меньше напряжение и наоборот.

**Трансформаторы напряжения** - используется в измерительных цепях, преобразуя высокое напряжение линий электропередач генераторов в удобное для измерения низковольтное напряжение (вольтметры и счетчики электроэнергии рассчитаны на 100 В).

Применение ТН позволяет изолировать низковольтные измерительные цепи защиты, измерения и управления от высокого напряжения, что, в свою очередь, позволяет использовать более дешёвое оборудование в низковольтных сетях и удешевляет их изоляцию.

ТН выполняют в виде двухобмоточного понижающего трансформатора. Для обеспечения безопасности работы обслуживающего персонала вторичную обмотку тщательно изолируют от первичной и заземляют.

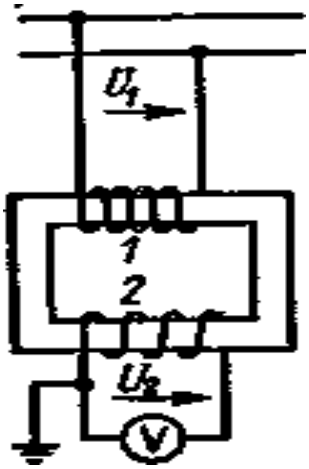



Рис. 31.
**Схемы включения ТТ и ТН**

Для правильного включения приборов зажимы обмоток измерительных трансформаторов помечаются знаками.
Зажимы первичной обмотки ТТ помечаются знаками Л1 и Л2(линия) и соответствующие им зажимы вторичной обмотки И1 и И2(измерительный прибор).
Зажимы первичной обмотки однофазного трансформатора напряжения обозначаются А и Х, а вторичной обмотки — а и х.

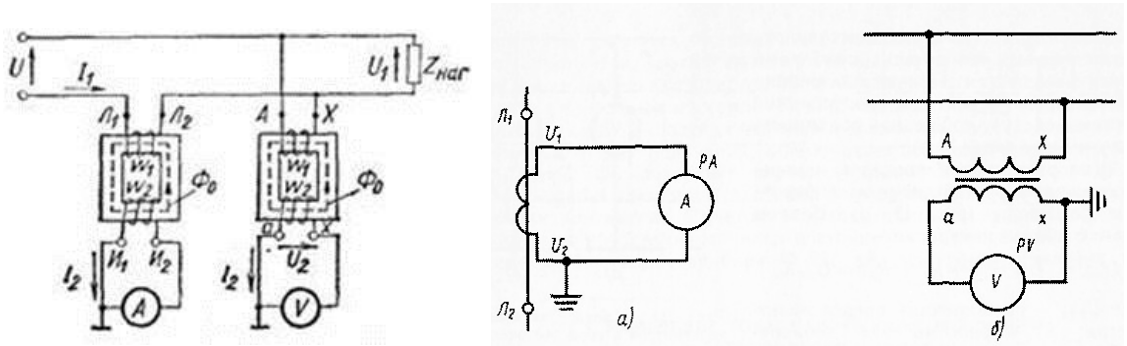



Рис. 32. Схемы включения трансформатора и трансформатора напряжения

**Задача 1.** Для определения расхода энергии предприятия в трехфазную сеть через измерительные трансформаторы включены два счетчика.
Коэффициент трансформации
трансформатора тока равен $K_{TT} = 200/5$ ,

трансформатора напряжении — $K_{TH} = 600/100$ .

Определить расход, энергии за месяц, если счетчики показали *400* и *300* кВт ч.

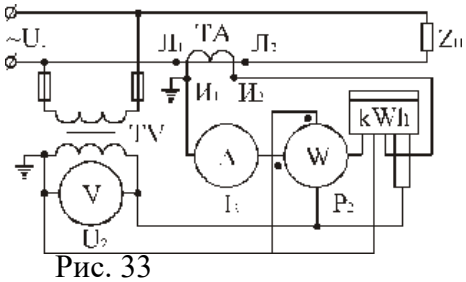


Рис. 33

**Задача 2.** Схема включения измерительных приборов через трансформаторы напряжения 3000/100 В и тока 100/5 А дана на рис. 33. Показания приборов оказались следующими: вольтметра $U_2$=80 В, амперметра $I_2$=4 А, ваттметра $P_2$=256 Вт.

**Условие 1.** Определить в первичной сети: напряжение $U_1$, ток $I_1$, мощность $P_1$, расход энергии $W_1$ за 8 ч. работы и

показание счетчика $W_2$ за то же время.

**Условие 2.** Полное сопротивление вторичной цепи трансформатора тока (вторичной обмотки и токовых катушек измерительных приборов) 3 Ом. Определить э.д.с. в первичной и вторичной обмотках трансформатора тока. Определить также э.д.с. во вторичной обмотке трансформатора тока, если эту обмотку разомкнуть.

## Практическая работа 7.

Определение показаний измерений многопредельными комбинированными приборами

**Цель работы**: Научиться определять показаний измерений многопредельными комбинированными приборами.

### Теоретические основы

Измерительный прибор, электрическую схему которого можно переключать на необходимый интервал пределов измерения электрической величины, называется многопредельным. В случае амперметров изменение пределов достигается включением различных шунтов, а в случае вольтметров – включением добавочных сопротивлений.

Многопредельные приборы позволяют измерять величины тока и напряжения в более широких диапазонах с наименьшей погрешностью.

Рассмотрим многопредельный амперметр со следующими пределами: от 0 до 5 А; от 0 до 10 А; от 0 до 30 А, шкала его имеет 150 делений. Если прибор включить в работу на диапазоне от 0 до 5 А, то при отклонении стрелки на 120 делений, прибор будет фиксировать ток $I_1 = 120 \times C_1$, где $C_1$ — цена деления амперметра данного диапазона:

$C_1 = \frac{A_m}{N}$, где $A_m$ — максимальное значение измеряемой величины, которую можно измерить на включенном диапазоне многопредельного прибора. В данном случае $A_m = 5$ А, N - число делений на приборе (N = 150). Если прибор включен на диапазоне от 0 до 10 А, то амперметр зафиксирует ток $I_2 = 120 \times C_2$, $C_2 = A_m/N=10/150$.

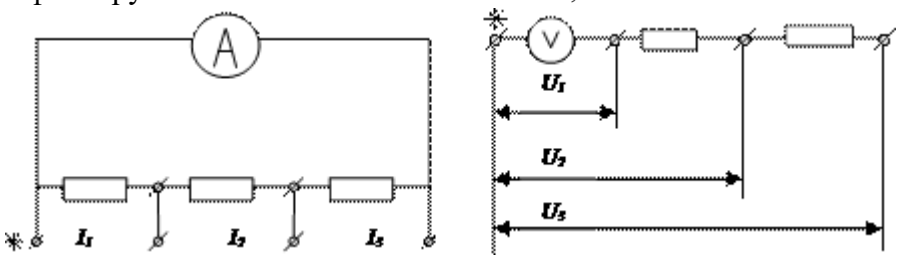



Рис. 34. Схема многопредельного амперметра и вольтметра

*Комбинированным прибором* называют средство измерений, с помощью которого можно измерять несколько физических величин в широком интервале значений.

Комбинированные приборы являются универсальными измерительными многопредельными приборами. Их применяют для непосредственного измерения тока и напряжения в цепях постоянного и переменного токов, сопротивления постоянному току, емкости, относительного уровня переменного напряжения, для контроля наличия или отсутствия тока и напряжения в цепях постоянного и переменного токов, для определения обрыва или замыкания цепей в кабелях, жгутах, предохранителях и электрорадиоэлементах, для проверки исправности различных электрорадиоэлементов.

В комбинированных приборах применяют только магнитоэлектрический механизм — микроамперметр с током полного отклонения $I_И$=10...300 мкА и внутренним сопротивлением $R_И$=30...1200 Ом. Пределы измерения по току и напряжению расширяют путем применения шунтов и добавочных резисторов.

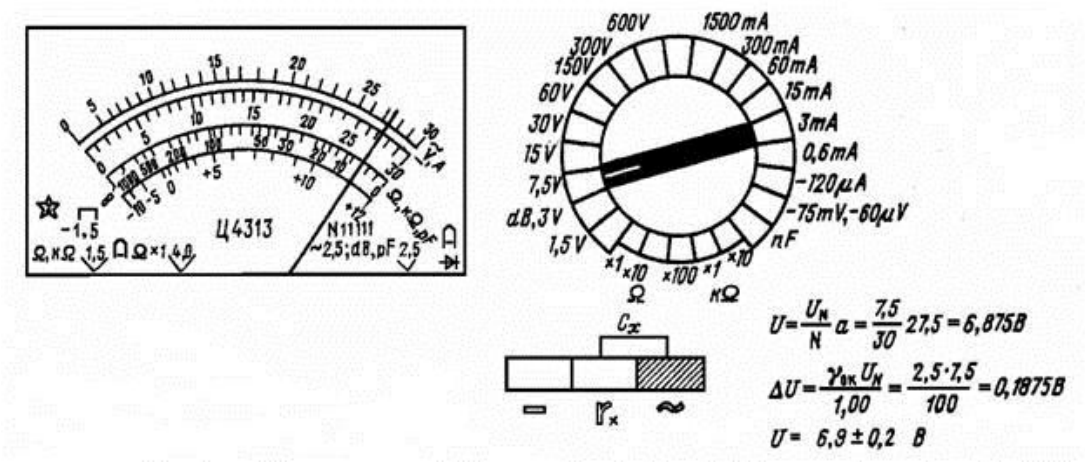



Рис. 35. Пример измерения переменного напряжения

Мультиметр (тестер) – электронный измерительный прибор, объединяющий в себе несколько функций: вольтметр, амперметр и омметр, но обычно функций в нем больше. Мультиметры бывают аналоговые и цифровые. В настоящий момент большинство мультиметров выпускают в цифровом исполнении. Многие из выпускаемых цифровых мультиметров могут работать под управлением компьютера и передавать на него результаты измерений для дальнейшей обработки.

Рис.36 Мультитетры: аналоговый и цифровой

Мультиметр состоит из: *1* – центрального переключателя – с его помощью выбирается нужная нам измеряемую величину. Одновременно этот переключатель служит для выключения питания прибора (в положении "off"); *2* – панели индикации – 3,5 разрядного жидкокристаллического индикатора, имеет три полных и один (старший) неполный разряд индикации; *3* – гнезда "COM" – минусовое гнездо измерительных щупов; *4* – гнезда для измерения напряжения, сопротивления и тока на всех пределах (кроме измерения тока с максимальной силой 10 ампер); *5* – гнезда для измерения тока на верхнем пределе (10 ампер). Вся окружность у центрального переключателя разделена на сектора (выделены обычно цветной краской). Каждое фиксированное положение переключателя отмечено точкой с обозначением верхнего предела измерения. Для примера – положение переключателя имеет

оцифровку "200" в секторе "DCV". Это означает, что **прибор будет измерять напряжение постоянного тока** величиной до 200 вольт (точнее – до 199,9 вольта, так как старший разряд индикатора не может отображать значение, большее "1").

**Для измерения переменного напряжения** переключатель прибора устанавливаем в секторе "ACV". Здесь обычно всего два предела измерений – но этого вполне достаточно...
Перед началом измерения той или иной величины нужно определиться, на каком пределе начинать проведение измерений. Например, мы проводим измерение напряжений в транзисторной схеме с напряжением питания 9 вольт. Очевидно, что верхнее измеряемое напряжение не может превышать напряжение питания, поэтому выбираем предел в секторе "DCV" и ставим переключатель в положение "20".
Минимальная погрешность измерения у цифрового прибора ограничена количеством знаков и в данном случае равна 0,01 вольта. Если мы будем измерять такое же напряжение на пределе "200", то погрешность увеличится до 0,1 вольта (в 10 раз!). При проведении измерений в цепях постоянного тока (DC) на табло также отображается полярность приложенного напряжения, относительно гнезда "COM" (общего черного проводника щупов).
**Измерительный сектор прибора, обозначенный латинской буквой "омега" используется для измерения сопротивлений.** Перед началом измерений необходимо убедиться в целостности проводов выносных щупов, соединив их вместе (переключатель в положении выбранного предела измерений). Прибор должен показывать сопротивление цепи около нуля (допускается изменение показаний на диапазоне "200 ом" на несколько единиц).

Далее касаются щупами выводов измеряемого резистора и отсчитывают показания на табло. Измеряя сопротивление резисторов не следует касаться пальцами оголенных мест щупов – это может привести к значительному повышению погрешности измерений и привести к травме.

**Задание**

1. Составить технологическую последовательность измерения постоянного тока мультиметром.
2. Составить технологическую последовательность измерения сопротивления мультиметром.
3. Определить показания комбинированного прибора Ц4313.

## Практическая работа 8.

Определение метрологических характеристик электроизмерительных приборов.

**Цель работы:** Научиться рассчитывать метрологические характеристики электроизмерительных приборов.

**Теоретические основы**

Важнейшей метрологической характеристикой средств измерений является погрешность.

**Погрешность средства измерений** – разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины.

**Точность средства измерений** – характеристика качества средства измерений, отражающая близость его погрешности к нулю. Считается, что чем меньше погрешность, тем точнее средство измерений.

По форме представления (способу выражения) погрешности классифицируются:

**Абсолютная погрешность средства измерений** – разность между его показанием $X_И$ и действительным значением $X_Д$ измеряемой величины: $\Delta = X_И - X_Д$

Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой физической величины.

**Относительная погрешность средства измерений** – погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к результату измерений или к действительному значению измеренной ФВ. $\delta = \Delta \cdot 100\% / X_И$

Относительная погрешность в большей степени характеризует точность средства измерений. Относительную погрешность обычно выражают в процентах.

Если диапазон измерения прибора охватывает нулевое значение измеряемой величины, то относительная погрешность обращается в бесконечность в соответствующей ему точке шкалы. В этом случае пользуются понятием *приведенной погрешности.*

**Приведенная погрешность средства измерений** - отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к некоторому нормирующему значению $X_N$ : $\gamma = \Delta \cdot 100 / X_N$

В качестве нормирующего значения принимается значение, характерное для данного вида измерительного прибора - диапазон измерений, верхний предел измерений, длина шкалы и т.д. Приведенную погрешность обычно выражают в процентах.

По условиям проведения измерений погрешности средств измерений делятся на основные и дополнительные.

**Основная погрешность средства измерений** – погрешность средства измерений, применяемого в нормальных условиях. Нормальные значения влияющих величин указываются в стандартах или технических условиях на средства измерений данного вида в форме номиналов с нормированными отклонениями. Наиболее типичными нормальными условиями являются:

температура (20 ± 5)° С;

относительная влажность (65±15) %;

атмосферное давление (100±4) кПа или (750±30) мм рт. ст.;

напряжение питания электрической сети 220 В ± 2 % с частотой 50 Гц.

Иногда вместо номинальных значений влияющих величин указывается нормальная область их значений. Например, влажность (30 – 80) %.

**Дополнительная погрешность средства измерений** – составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

**Класс точности средств измерений** – обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

**Задача 1.** Определите относительную погрешность измерения напряжения переменного тока электромагнитным вольтметром при положениях переключателя рода работы на постоянном и переменном токах, если прибор показывает в первом случае 128 В, во втором 120 В при напряжении 127 В.

**Задача 2.** Температура в масляном термостате измеряется образцовым палочным стеклянным термометром и поверяемым парогазовым термометром. Первый показал 1110С, второй 1100С. Определить истинное (действительное) значение температуры, погрешность поверяемого прибора, оцените относительную погрешность термометра.

**Задача 3.** Определите относительную погрешность в измерениях лазерным дальномером расстояния до Луны (384395 км) с абсолютной погрешностью 0,5 м.

**Задача 4.** Основная приведенная погрешность амперметра, рассчитанного на ток до 10 А, составляет 2,5%. Определите возможную абсолютную погрешность.

**Задача 5**. Определить для вольтметра с пределом измерения 30 В класса точности 0,5 относительную погрешность для точек 15, 20, 25 В и наибольшую абсолютную погрешность прибора.

**Задача 6.** Указатель отчетного устройства манометра класса точности 1,6 показывает 4 КПа. Чему равно измеряемое давление? Необходимо учесть, что прибор с равномерной шкалой имеет нулевое значение входящего сигнала внутри диапазона. Диапазон шкалы (5÷20) КПа.

**Задача 7.** Амперметр класса точности 1,5 имеет 100 делений. Цена каждого деления 0,5 А. Определить предел измерения прибора, наибольшую абсолютную погрешность и относительную погрешность в точках 10, 30, 50, 70 и 90 делений.

**Контрольные вопросы**

1. Что такое точность измерения?
2. Что такое погрешность и вариация средства измерения?
3. Что такое основная погрешность СИ?
4. Какие погрешности СИ не относят к основным?
5. Из чего складывается дополнительная погрешность СИ?
6. Как вычисляют приведенную погрешность СИ?

**Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы**

**Основные источники:**

1.1. Акимова Н.А., Котеленец Н.Ф., Сентюрихин Н.И. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования. 8-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2019. – 304 с.

1.2. Грибанов Д.Д., Зайцев С.А., Меркулов Р.В., Толстов А.Н. Контрольно-измерительные приборы и инструменты – М.: Издательский центр «Академия», 2018. - 464 с.

1.3. Нестеренко В.М. Технология электромонтажных работ: учеб. пособие – М.: Издательский центр «Академия», 2020. - 592 с.

1.4. Сибикин Ю.Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий. В 2 кн. Кн. 1: учебник – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2021. – 208 с.

1.5. Сибикин Ю.Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий. В 2 кн. Кн. 2: учебник для нач. проф. образования / Ю.Д. Сибикин. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2099. – 256 с.

1.6. Сибикин Ю.Д. Электробезопасность при эксплуатации электрических установок промышленных предприятий: учебник, Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин – М.: Издательский центр «Академия», 2021. - 240 с.

1.7. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий: учебник для студ. сред. проф. образования / Ю.Д. Сибикин. – 5-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2017. – 368 с.

1.8. Шеховцов В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование: учебник / В.П. Шеховцов, - 4-е издание. – М.: ФОРУМ: ИНФРА – М. 2019. – 416 с.

1. Справочники:

2.1. Москаленко В.В. Справочник электромонтера: учеб. пособие для нач. проф. образования / В.В. Москаленко. – 5-е изд. Стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. - 368 с.

2.2. Сибикин Ю.Д. Справочник электромонтера по ремонту электрооборудования промышленных предприятий: учеб. пособие для нач. проф. Образования. - М.: Издательский центр «РадиоСофт», 2010. - 256 с.

Журналы:

«Инновации. Технологии. Решения»

«Инструмент. Технология. Оборудование