

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Режимы работы электрических источников питания, подстанций, сетей и
систем
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Разработка лабораторного практикума «Электрические испытания в
сетях напряжением до 1 кВ на базе прибора «Мегаомметр ЭСО-210/З-Г»

Студент

М.П. Крюковский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

В.В. Вахнина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы д.т.н., профессор В.В. Вахнина
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« ____ » _____ 2017 г.

Тольятти 2017

Содержание

Введение.....	4
1. Анализ современного технического образования, с позиции проведения лабораторных работ.	7
1.1 Особенности технического образования.....	7
1.2 Объективная необходимость лабораторного практикума.	11
1.3 Образовательные задачи лабораторного практикума.	13
1.4 Возможные подходы к организации лабораторных практикумов.	14
1.5 Виды лабораторных практикумов.....	15
1.6 Формы реализации учебного лабораторного оборудования.	20
1.7 Итоги по первой главе	33
2. Сети номинальным напряжением до 1000 вольт	34
2.1 Общие сведения	34
2.1.1 Основные положения о сети напряжением до 1000 В.....	35
2.1.2 Режимы нейтрали сети до 1000 В.	37
2.1.3 Типы заземления сетей.....	39
2.2 Электрозащитные средства в электроустановках до 1000 В.....	48
2.3 Измерительное оборудование в сетях напряжением до 1000 вольт.....	53
2.3.1 Измерительное оборудование последовательного и параллельного включения.	53
2.3.2 Измерительное оборудование для замеров сопротивления изоляции.	58
2.3.3 Принцип работы электромеханического мегаомметра.....	58
2.3.4 Электронные мегаомметры.....	61

2.3.5 Микропроцессорные мегаомметры.....	62
2.4 Принцип измерения сопротивления изоляции	63
2.5 Измерение сопротивления изоляции электродвигателя	67
2.6 Итоги по второму разделу.....	75
3. Разработка лабораторного практикума «Электрические испытания в сетях напряжением до 1 кВ на базе прибора «Мегаомметр ЭСО-210/З-Г».....	76
3.1 Лабораторная работа № 1 «Измерения в сети номинальным напряжением до 1000 В. Знакомство с прибором «Мегаомметр ЭСО-210/З-Г»».....	76
3.2 Лабораторная работа № 2 «Измерение сопротивления изоляции силового кабеля с медными жилами с ПВХ изоляцией рассчитанного на напряжение 660 В.»	81
3.3 Лабораторная работа № 3 «Определение коэффициента абсорбции на примере кабеля ВВГнг».....	88
3.4 Лабораторная работа № 4 «Измерение сопротивления изоляции электрической машины и определение коэффициента абсорбции».....	95
3.5 Выводы по третьему разделу	102
Заключение	103
Список использованных источников	104

Введение

В электроэнергетике, при обслуживании электросетей, номинальное напряжение которых составляет до тысячи вольт и выше, инженеры-специалисты и обслуживающий персонал часто сталкиваются с рядом различных проблем, таких как:

- большие потери электроэнергии;
- технические неисправности электроустановок;
- старение изоляционных элементов и прочее.

Что бы предупредить подобные неполадки необходимо использовать различное диагностическое оборудование и проводить профилактические испытания действующих электроустановок.

Для диагностики электросетей и электроустановок используется следующее оборудование:

- вольтамперный фазометр;
- токовые клещи;
- тепловизор;
- амперметр;
- вольтметр;
- мегаомметр или омметр.

В настоящее время, все это перечисленное оборудование широко применяется в электролабораториях, строительстве, а также в качестве учебного пособия на учебных стендах в высших учебных заведениях (ВУЗ).

В процессе обучения студентов технических специальностей во многих ВУЗах, кроме основных лекций, практических занятий, практик на производстве, предусматриваются лабораторные занятия на специализированных лабораторных стендах, оснащенных всем необходимым оборудованием.

Практические лабораторные работы в учебных лабораториях помогают студентам закрепить материал, полученный на лекциях, и понять различные

процессы, которые происходят в электроэнергетике. Но времени, которое отведено в учебном плане студента для освоения лабораторных работ крайне мало (рисунок 1).

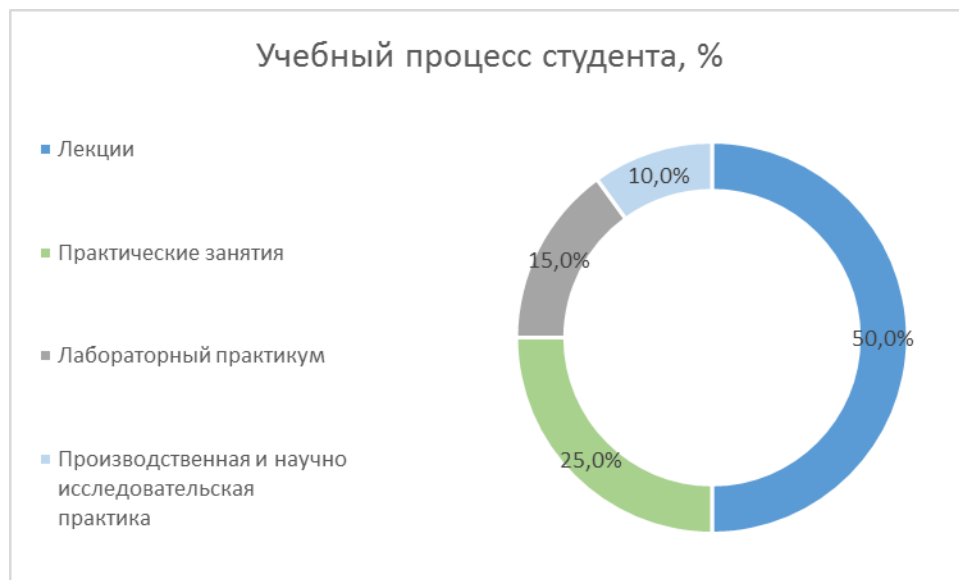


Рисунок 1- Время, отведенное на элементы учебного процесса студента в процентном соотношении

Научная новизна работы заключается в том, что молодым специалистам, только что окончившим ВУЗ, не хватает практических навыков для использования электрооборудования, а предложенный лабораторный практикум позволит овладеть навыками использования диагностического оборудования для электросетей номинальным напряжением до 1000 вольт.

Целью магистерской диссертации является разработка лабораторного практикума на тему «Электрические испытания в сетях напряжением до 1 кВ на базе прибора «Мегаомметр ЭС0-210/3-Г»».

Для достижения поставленной цели, ставятся следующие задачи:

- 1) Анализ современного технического образования с позиции проведения лабораторных работ.
- 2) Анализ электрозащитных средств и электроизмерительного оборудования электросетей напряжением до 1000 В.

3) Разработка лабораторных работ согласно заданной теме лабораторного практикума.

1 Анализ современного технического образования с позиции проведения лабораторных работ

1.1 Особенности технического образования

В наши дни, в России, есть возможность получить высшее образование в высших учебных заведениях государственного и негосударственного образца. Среди данных вузов более пятисот готовят специалистов по семидесяти девяти направлениям и трем ста специальностям в технической отрасли. Каждый крупный город РФ имеет свой технический университет, хотя бы один. Случалось, что технический и, так называемый, классический вузы объединяли в один вуз под общим названием. Такое множество направлений подготовки и специальностей требует от вузов проявление поиска новых возможных форм организации учебного процесса при подготовке студентов - будущих специалистов своего дела.

Согласно действующим федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования (ФГОС ВО), выпускники технических вузов в процессе обучения получают навыки в следующих видах проф. деятельности, таких как:

- проектно-конструкторская и технологическая;
- исследовательская;
- эксплуатационное и сервисное обслуживание;
- монтажно-наладочная;
- организационно-управленческая.

Зачастую, отдельные виды профессиональной деятельности выпускников содержатся в основе образовательных программ их обучения, разрабатываемых вузами.

Требования, которые предъявляются к молодым специалистам только что окончивших технический вуз, крайне велики. Для решения поставленных перед инженером задач, ему необходимо:

- выполнять проектные работы, информировать сотрудников организации и производства, производить необходимые измерения и поверки, осуществлять технический контроль за производством, а также осуществлять технологическое оснащение по мере необходимости;

- осуществлять технико – экономический расчет и анализ с обоснованием принимаемых решений и реализуемых мер для достижения поставленных, согласно расчету, целей; производить анализ входящего потока информации о вверенном производстве; осуществлять грамотное распределение материалов, ресурсов, энергии;

- разрабатывать техническую и технологическую документацию, а также проводить мероприятия по внедрению новых проектов и программ;

- заниматься исследовательской работой, участвовать в проведении испытаний оборудования и во введении его в эксплуатацию, активно участвовать в стандартизации технических средств, процессов и т. д.

- применять на практике знания о различных программных продуктах, для расчета необходимых параметров и пр.;

- составлять график проведения работ, осуществлять необходимые заказы, инструкции, и иную техническую и технологическую документацию;

- производить выверку технических и технологических документов лично, производить надзор и контроль за состоянием и выполнением правил эксплуатации оборудования, отмечать существующие резервы и в случае их нехватки производить дополнительные закупки, устанавливать причины существующих отрицательных моментов и неисправностей в процессе работы оборудования, разрабатывать и принимать меры по их устранению и повышению эффективности использования оборудования;

- контролировать соблюдение установленных требований, действующих норм и стандартов;

- осуществлять контроль за работой и повышением квалификации вверенного персонала;

- разрабатывать и обеспечивать проведение энергосберегающих и экологических мероприятий.

Согласно вышеперечисленным требованиям становится ясно, что работа специалиста крайне разнопланова и требует разнообразных и глубоких знаний в смежных отраслях прикладной науки и техники. Специалисту необходимы умения и навыки для того, чтобы выполнять и курировать разработки технического комплекса. От инженера требуется спланировать полный «жизненный цикл» проекта, начиная от сбора информации для начала его разработки, заканчивая утилизацией с производства. Специалисту – инженеру необходимо произвести наладку, ввод в эксплуатацию и многое другое касательно этого проекта [1].

Главной особенностью технического образования в РФ является то, что направлений подготовки по одной отрасли крайне много. Отсюда возникает проблема, касающаяся как кафедры, так и студентов. Студенты с первого курса изучают большое множество дисциплин, что приводит к трудностям, которых можно было бы избежать, унифицировав некоторые дисциплины. Кафедры, в свою очередь, сталкиваются с написанием огромного количества учебных планов, которые в действующих ФГОС ВО относятся к разряду федерального компонента подготовки.

Процесс преподавания учебных дисциплин связан с большими затратами, а именно:

- необходимы квалифицированные преподаватели по дисциплинам;
- необходимы сотрудники учебно-вспомогательного штата, методисты, лаборанты;
- необходимы лекционные аудитории и учебные лаборатории с дорогостоящим лабораторным оборудованием.

Такая экономическая особенность – есть проявление финансовых затрат организации учебного процесса традиционной системы обучения. Такое положение не может устраивать учащихся студентов и абитуриентов. В настоящее время отсутствуют интеллектуальные, материальные и финансовые

ресурсы для осуществления учебного процесса. Особенно сильно эта проблема усиливается при переходе на новые методы в организации обучения, так как кроме всего возникает необходимость в подготовке учебно-методических средств, а также материально-технического обеспечения на новой технологической базе.

Для внедрения нововведений в организацию образовательного процесса, и, как следствие, уменьшить стоимость обучения, требуется пересмотреть действующую систему организации учебного процесса более детально. Исключить факторы, создающие труднопреодолимые барьеры для студентов. Эти шаги позволят снизить затраты на создание необходимых средств учебного процесса.

Еще одна особенность действующей системы образования молодых специалистов – курсовые работы, расчетные задачи, проекты, лабораторные работы. Студенты выполняют все виды этих работ в специально отведенное время, консультируясь у преподавателя дисциплины. Все эти компоненты образовательной системы развивают у студента такие навыки, как внимательность, аккуратность, терпение, но так как большое количество времени уходит именно на письменное решение курсовых проектов или графических задач, крайне мало времени остается для практического применения полученных навыков, что является основной целью всего учебного процесса. Поэтому требуется более активно внедрять и применять именно практические лабораторные практикумы, на которых студенты в ходе учебного процесса смогут понять, для чего проделывались расчеты в расчетных графических задачах и курсовых проектах.

Применение лабораторных практикумов является главной особенностью технического образования, поэтому отдельное внимание стоит уделить оборудованию учебных лабораторий. Подтверждение этому служит действующий государственный образовательный стандарт, который регламентирует перечень учебных дисциплин. Организация этого учебного

компонента является основной частью статьи расходов на организацию учебного процесса, до 80%.

В условиях резкого уменьшения финансирования учебных заведений в первую очередь «страдают» учебные лаборатории:

- оборудование быстро стареет морально;
- физически приходит в неработоспособное состояние.

Главное, что стандартные учебные лаборатории не выполняют своей основной функции, состоящей в том, чтобы научить студентов постановке, проведению и обработке результатов инженерных экспериментов. Вместо этого студентам предлагается выполнить заданную последовательность действий по включению и отключению источников питания, записи показаний измерительных приборов, построению графиков и защите лабораторной работы у преподавателя.

1.2 Объективная необходимость лабораторного практикума

Выпускники-молодые специалисты зачастую сталкиваются с проблемой практического применения своих теоретических знаний. Скажем, приходя на завод, бывший студент, не имеет представления, как же пользоваться вверенным ему станком. Или, молодые энергетики, видя перед собой большое количество реальных схем или оборудования – теряются, тем самым совершают банальные ошибки, которые можно было бы избежать посредством лабораторного практикума, изучаемого в вузе.

Лабораторный практикум представляет собой наиболее значимую и результативную часть учебного процесса подготовки молодых специалистов. Практикум служит для того, чтобы студенты в ходе учебного процесса смогли приобрести практические навыки работы на аналогах реального оборудования, которое, возможно, будет им вверено в будущем.

Практические лабораторные работы проводятся со студентами в специально оборудованных учебных классах – лабораториях. Насколько будет эффективно применение лабораторного практикума зависит от:

- оснащения учебных лабораторий современным оборудованием;
- выбора объектов экспериментального изучения и содержания лабораторной работы;
- реализации правильно подобранных технологий выполнения работ.

Очень часто в последнее время поднимается вопрос о том, чтобы сохранить традиционную форму выполнения лабораторных работ на физических стендах. Связано это с широким внедрением компьютерных аналогов подобных работ. Крайне часто применяются лабораторные работы с использованием маятника, резистора, электрических цепей. Предлагается отказаться от данных приборов не только из-за их стоимости, громоздкости и энергоемкости, но и потому, что происходящие с ними процессы адекватно описывают математические модели [6].

Следует отметить, что не сложность объекта изучения и не наличие или отсутствие его математической модели требует необходимость постановки учебного экспериментального исследования, а лишь стратегия подготовки специалиста. Специалист обязан уметь читать техническую литературу, принципиальные электрические схемы, монтажные схемы, конструкторскую документацию, рассчитывать необходимые параметры исходя из начальных данных. Помимо этого, специалист должен знать технику постановки проверочного инженерного эксперимента, без всех этих навыков специалист не состоится.

Благодаря лабораторным работам и аналогу реального оборудования студент будет постигать азы постановки инженерного эксперимента и грамотно применять полученные навыки в своей практической деятельности для создания нового оборудования или других объектов. В таком случае, чаще всего, специалист не имеет точных исходных данных и поэтому перед ним

стоит задача уточнения структуры и параметров математической модели по данным эксперимента.

1.3 Образовательные задачи лабораторного практикума

Лабораторный практикум должен выполнять следующие задачи:

1. Практический опыт.

Важно, когда обучающийся видит, как законспектированный и изученный лекционный материал можно применить в реальной жизни. Как все то, что описано математическими формулами, двигается, крутится и вращается.

2. Навык работы с аналогами реального оборудования.

При проделывании лабораторных работ в системе, в ходе учебного процесса, у студента появляется осознание будущей профессиональной деятельности, пропадает страх прикоснуться к реальным установкам.

3. Разработка плана, согласование, постановка инженерного эксперимента.

От чего нужно отталкиваться в начале эксперимента, чего ожидать в конце эксперимента, какие данные вводить и какие показания контролировать – все это придется решать в повседневном рабочем процессе будущему специалисту, и полагаться нужно будет исключительно на себя.

4. Принимать решение в пользу необходимого оборудования для эксперимента.

Зачастую специалисты сталкиваются с проблемой нехватки необходимых агрегатов. Поэтому перед ними встает задача просчитать замену альтернативным, корректным оборудованием. Необходимо просчитать экономическую выгоду и обосновать целесообразность выбора.

5. Делать выводы согласно полученным результатам эксперимента.

Весь инженерный эксперимент можно разбить на этапы: подготовка, выполнение, обработка результатов. Конечно, выполнение – большая часть всего эксперимента, но благодаря выводам от эксперимента видна польза.

Анализируя полученные данные, необходимо уметь отличить незначительные отклонения от нежелательных помех и прочее. Необходимо уметь проделывать статистическую обработку выходных параметров [10].

6. Сравнение полученных данных экспериментальным путем с теоретическими данными по такому же эксперименту.

Этот пункт является самым важным, поскольку у специалиста, который проводит эксперимент должно бы четкое видение ситуации происходящего. Это достигается путем получения теоретических навыков во время обучения и работы. Выполнение данной задачи покажет, насколько оправдало себя проведение эксперимента.

В идеале, ход образовательного процесса должен быть обеспечен компонентами изучения, практическими, теоретическими, лабораторными. Все это необходимо для эффективного усвоения и изучения материала [21].

1.4 Возможные подходы к организации лабораторных практикумов

На сегодняшний день ФГОС ВО не регламентирует то, что должно содержаться в лабораторном практикуме, регламентируется только его объем в часах по отношению к теоретической части изучаемой дисциплины.

Из-за малого финансирования, чаще всего вместо необходимого расширения списка лабораторного оборудования, для качественного проведения лабораторных работ, время, отведенное на экспериментальное выполнение, заполняют другой работой. При чем работа состоит из составления графиков, письменных расчетов и т.д. – все это занимает крайне много времени, а фактических знаний по изучаемому объекту недостаточно.

Некоторые учебные заведения с техническим направлением для проведения лабораторных работ получают списанное оборудование профильных предприятий и самостоятельно доводят его до нужных параметров.

Благодаря поддержке спонсоров, ряд вузов покупают полноценные лаборатории, отдельные стенды, блоки изготовленные отечественным или зарубежным производителем.

Итогом является тот факт, что во многих вузах по множеству причин имеющийся лабораторный практикум не удовлетворяет потребностям организованного учебного процесса, а, следовательно, требует тщательной реорганизации.

1.5 Виды лабораторных практикумов

Проведем небольшой анализ, как образовательные инструменты применяются в различных видах лабораторных практикумов и какова их эффективность. За основу примем «идеальный» лабораторный практикум на конкретном примере, дисциплина «Электротехника» [16].

Оборудование, которое применяется в учебной лаборатории:

- Различные типы электрических машин постоянного и переменного тока;
- Различные типы источников электропитания с различными видами тока, постоянным и переменным, частоты и выходной мощности.
- Амперметр, ваттметр, частотомер, вольтметр и прочие измерительные приборы.
- Регулирующие устройства, исполнительные устройства, и другие виды вспомогательного оборудования необходимые для проведения лабораторной работы.

«Идеальный» лабораторный практикум должен был бы выглядеть следующим образом:

- Студент получает задание согласно своему варианту и, руководствуясь предварительно изученным учебным материалом об изучаемом объекте, студент выбирает из всего предоставленного лабораторного оборудования только то, которое касается его задания на выполнение лабораторной работы.

- На выбранном студентом лабораторном стенде собираются элементы в одну схему, установку. Проводится эксперимент. Итогом эксперимента является получение выходных параметров. Полученные данные подлежат дальнейшему анализу и обработке.

На практике реализация «идеального» подхода себя не находит, поскольку требуются затраты на оборудование и большое количество свободного времени студента. Так же существует риск испортить оборудование.

Что представляет собой традиционный лабораторный практикум? Обычно, это заранее собранная установка или лабораторный стенд, не требующий от студента лишних трудозатрат.

Обучающийся чаще всего производит простые действия, такие как регулировка напряжений, включение или выключение тумблеров измерительных приборов и т.д. Вследствие этого, студент лишается возможности постановки инженерного эксперимента, выбора измерительного оборудования и приборов, все это уже выбрано и сделано за него.

Помимо всего, в реальной жизни преподаватели и инженеры сталкиваются с такими задачами как, организация, техническая и экономическая поддержка лабораторного практикума. Эффективнее всего было бы произвести мероприятия по закреплению прочитанного на лекции материала сразу после лекции, но, к сожалению, это невозможно, поскольку лекция читается, в основном, для больших групп студентов, а лаборатории рассчитаны на 8-12 рабочих мест.

Из-за большого потока студентов приходится практиковать выполнение лабораторной работы бригадой, по два и более человек. Практика такого метода выполнения лабораторных работ показывает, что в бригаде работает один человек, а остальные делают незначительные задания, фиксируют в отчет результаты, строят графики и т.д. Получается, приобретает практический навык только один студент, а остальные лишь косвенно получают данный навык, что является не эффективным. Таким образом, лабораторный практикум не

выполняет свою главную задачу – показать практическое применение полученных знаний на базе реальных аналогов техники.

Остальные группы, вынуждены выполнять лабораторные работы либо касательно других тем, еще неизученных, либо с разницей во времени с прочитанной лекцией в одну две недели. Все это так же не способствует качественному усвоению материала.

В случае если лабораторный стенд или оборудование представлено в единичном экземпляре, преподаватель производит демонстрационные лабораторные работы.

Чаше всего такое происходит, когда объект изучения слишком велик, дорогостоящий или энергоемкий, для того изготавливать в учебных целях в большом количестве. Считается нецелесообразным создавать уменьшенные в масштабе копии таких стендов, так как уменьшение может искажать реальные показания проводимого лабораторного эксперимента, а также, считается, что студенту будет трудно в дальнейшем перенести работу с таким оборудованием в реальную жизнь. Все эти факторы вредят образовательному процессу. Но существует и диаметрально противоположная точка зрения специалистов. Они считают, что ничего плохого в том, что студенты работают на уменьшенных копиях оборудования нет. Главное при создании такого оборудования соблюсти пропорции, тогда процессы, происходящие во время эксперимента, будут отражены корректно, а это главное в учебном процессе. Работу реального станка, электростанции, прокатного стана возможно изучить по учебным видео фильмам или во время производственной практики. Будущему специалисту важнее понимать принцип работы вверенного ему агрегата, а внешний его облик может быть другой.

Итак, демонстрационный лабораторный практикум проводится инженером, закрепленным за лабораторией, либо преподавателем дисциплины. Студенты лишь наблюдают за процессом. И снова главные образовательные функции лабораторных работ не реализуются, кроме одной - ознакомление с рабочим процессом установки. Но из-за того, что оборудование дорогостоящее,

скорее всего менялось очень давно и, поэтому, вероятнее всего, уже снято с производства и не используется в реальной жизни, поэтому стоит задаться вопросом об эффективности реализации подобных лабораторных практикумов.

Демонстрационный лабораторный практикум следует отнести, скорее, к вынужденным временным мерам по закреплению, прочитанного на лекции, материала.

Еще один вид лабораторного практикума – виртуальный. Это новый, быстроразвивающийся вид проведения лабораторных работ с помощью программного обеспечения персональных компьютеров. Суть такова, что все процессы реальных лабораторных работ переносятся на экраны компьютеров с помощью математических моделей, описывающих данные процессы или явления. Благодаря различным программным инструментам создается иллюзия работы с реальным оборудованием.

Существуют два вида виртуального лабораторного практикума:

1) Лабораторный практикум, состоящий только из моделей. Реализация постановки, отладки, проведения инженерного опыта производится с помощью универсальных моделей, либо с помощью компьютерных аналогов.

2) Полунатурный лабораторный практикум. Постановка такой лабораторной работы опирается на модельный вариант практикума, отличие лишь в том, что первоначальные данные берутся из ранее проделанных реальных опытов.

Благодаря компьютерным моделям, создается имитация работы с аналогами реального оборудования. Применение такого метода лабораторного практикума имеет неоспоримый плюс – учащийся может выбирать любой из представленных в списке компьютерной программы, механизм, схему и др. Таким образом, реализуется творческий потенциал студента, так как возможности виртуальной лаборатории практически не ограничены. В компьютерной модели возможно выполнение задачи согласно выданному варианту. По завершению эксперимента студент получает готовые графики и необходимую статистику.

Но, как и во многом, лабораторный практикум на основе моделей имеет свои минусы, которые негативно сказываются на усвоении учебного материала. И так, «находясь» в виртуальном пространстве студент лишается возможности собственноручно исправлять ошибки и наблюдать как ведет себя аппаратура, если параметр выставлен неверно. Все ошибки исправляются либо автоматически, либо на них указывает сама программа. Эти действия лишают студента логически мыслить в поисках проблемы и искать творческие пути решения.

Можно сделать вывод, что проведение лабораторных работ с помощью компьютерных виртуальных моделей является нужной частью учебного процесса, но они не смогут целиком заменить практические лабораторные работы.

Существует еще один вид лабораторного практикума – удаленный. Его суть заключается в том, что лабораторные работы находятся на едином ученическом сервере, в системе открытого технического образования. Лабораторные работы осваиваются студентом самостоятельно по учебным пособиям. Группы могут коллективно получать доступ к работам.

Подобно модельному методу проведения лабораторного практикума, обучающиеся имеют возможность самостоятельно организовать проводимый эксперимент, произвести выбор оборудования или его аналога, выставить необходимые параметры, получить итоговый график или показания измерительных приборов, изменять конфигурацию исходной схемы и режим проведения эксперимента.

Опять же, студенты, выполняющие подобный лабораторный практикум, лишены возможности непосредственного физического контакта с оборудованием. Следовательно, теряется основная образовательная функция – приобретение практического навыка.

Вот некоторые аргументы специалистов:

1) Необходимость прямого контакта обосновывается выработкой координации движений при управлении вручную сложными механизмами. В

свою очередь, лабораторный практикум, чаще всего, направлен на изучение таких процессов, которые недоступны человеческому глазу, это переходные процессы, магнитные, тепловые, гидродинамические – все эти процессы студент не может осязать либо увидеть невооруженным глазом.

2) Когда появились первые средства для автоматизации процесса, человек, как управляющий сегмент, был заменен на электронные вычислительные машины, а произошло это потому, что стал велик риск человеческого фактора в вопросе управления производством. Осуществлять контроль необходимо, порой, за множеством элементов. У человека уйдет большее количество времени, чем у ЭВМ.

3) Сегодня, когда инженер-специалист заступает на смену, он приходит в диспетчерскую, где на диспетчерском пульте выведены органы управления и надзора за производственным процессом. Поэтому подготовка молодых специалистов, способных быстро освоить дистанционный мониторинг производственных процессов, крайне важна для перспективного развития различных производственных отраслей.

Из проведенного анализа представленных существующих лабораторных практикумов следует, что используется сформированная случайным образом, лабораторная база, которая никак не меняется из года в год, не модернизируется и не обновляется. Все это пагубно влияет на подготовку технических специалистов.

1.6 Формы реализации учебного лабораторного оборудования

Исходя из того, как предполагается реализовывать лабораторное оборудование, и какие функции оно будет выполнять, подразделяют на следующие формы:

- учебные тренажеры;
- учебные лабораторные стенды;
- учебно-методические комплексы.

Основной формой учебного лабораторного практикума является – учебный тренажер. Он предназначен для:

1) разработки «памяти рук», когда неоднократно выполненные действия доведены до автоматизма и никакие внешние раздражители не являются помехой (манипуляционные тренажеры).

2) накопления опыта по выявлению дефектов в часто используемом оборудовании (диагностические тренажеры).

3) мониторинга за происходящими процессами и изменением выходных параметров (мониторинговые тренажеры).

По способам реализации тренажеры разделяют на:

1) Натурные. Выполняются на основании реальных изучаемых объектов, на которых предстоит работать или с которыми придется как-то сталкиваться в дальнейшем. Самый простой пример такого тренажера является – учебный автомобиль. Ни одна компьютерная модель не заменит практически приобретенных навыков. Будущий водитель обязан сам прочувствовать руль, рычаг переключения передач, то, как ведет себя автомобиль на дороге.

2) Полунатурные. Представляют собой набор аналогов реального оборудования там, где происходит непосредственный контакт с инженером, а также компьютерные модели, необходимые для формирования внешних факторов, влияющих на процесс работы. Простой пример такой модели можно позаимствовать из авиации. Так летчики, прежде чем сесть за штурвал реального самолета, проходят обучение в учебной кабине, представляющей из себя комбинацию сиденья, монитора, приборной доски. Все приборы работают и изменяют свои показания в зависимости от того, как ведет себя будущий пилот в учебном симуляторе. Сиденье изменяет свое положение в трехмерном пространстве. Еще один пример полунатурного тренажера является серия учебных тренажеров, к примеру, фирмы «Учебная техника» или «EletttronicaVeneta». Тренажеры этих фирм представляют собой распиленное оборудование различного типа. Сделано это для того, чтобы студент по

заданию преподавателей смог найти дефект, который вводится посредством компьютерной программы или вручную (рисунок 1.1).

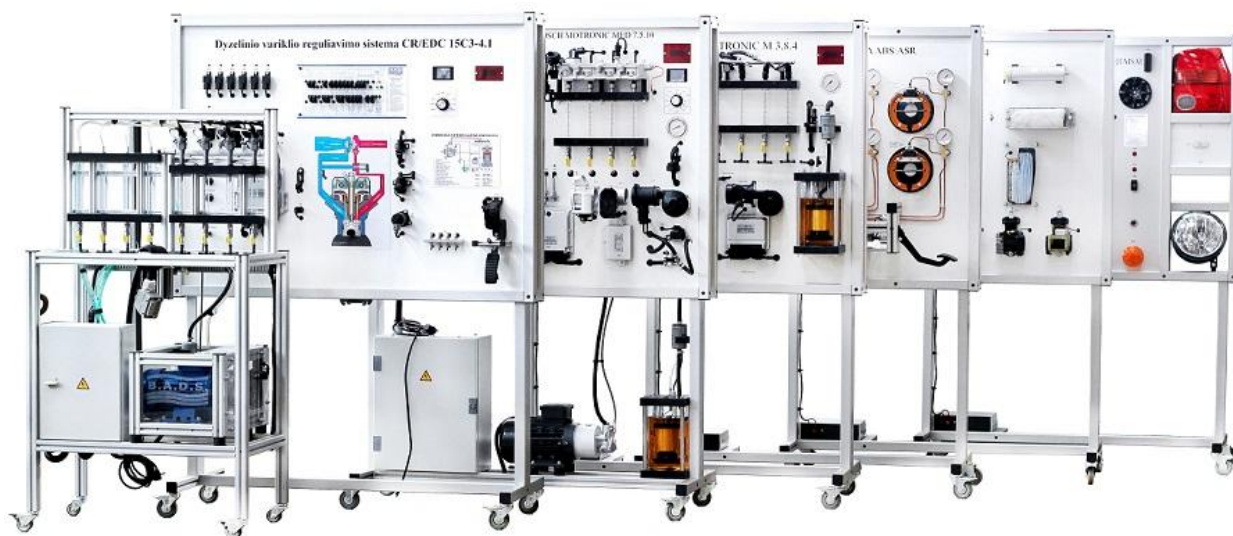


Рисунок 1.1- Пример полунатурного тренажера

3) Модельные. Такие тренажеры реализуются с помощью компьютерной среды, а именно различных программ и дополнений к ним. Чаще всего такой тип тренажера используют для подготовки оперативного персонала, диспетчеров (рисунок 1.2).

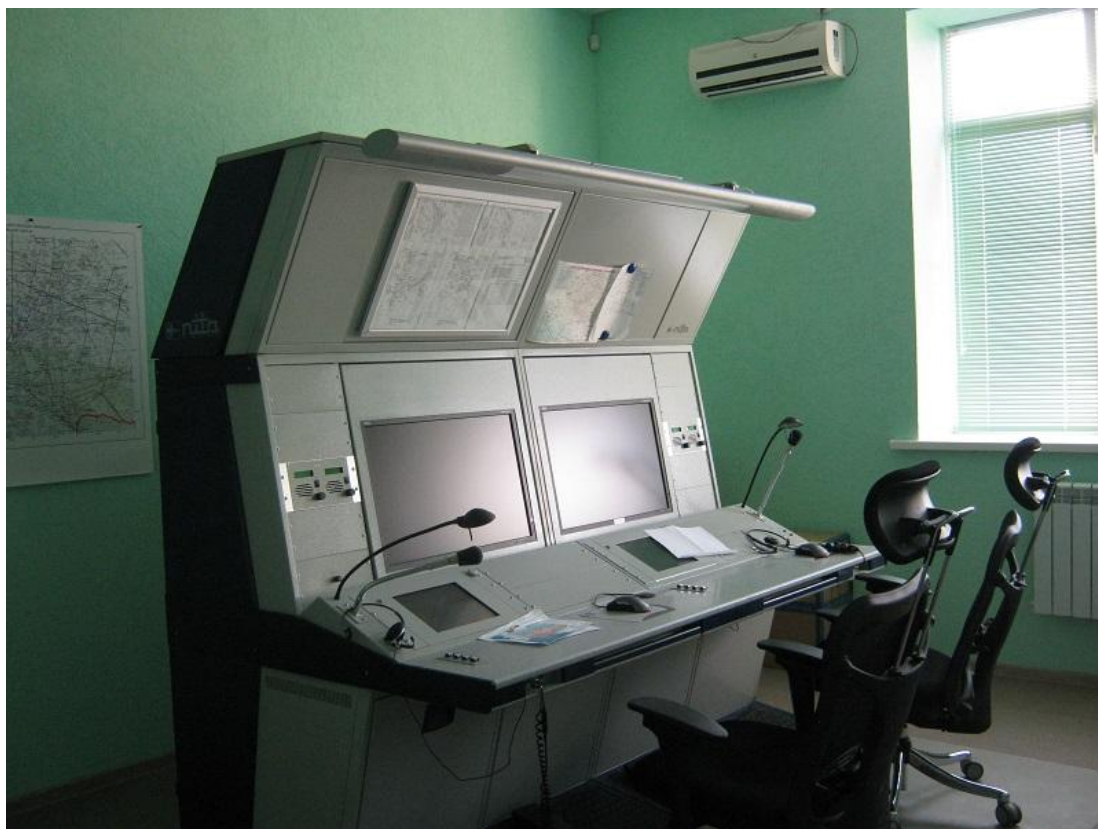


Рисунок 1.2 – Пример модельного тренажера

Учебные лабораторные стенды – это принципиально другая форма реализации учебного лабораторного оборудования, предназначенная для экспериментального исследования физических процессов и технических показателей изучаемых объектов (рисунок 1.3).

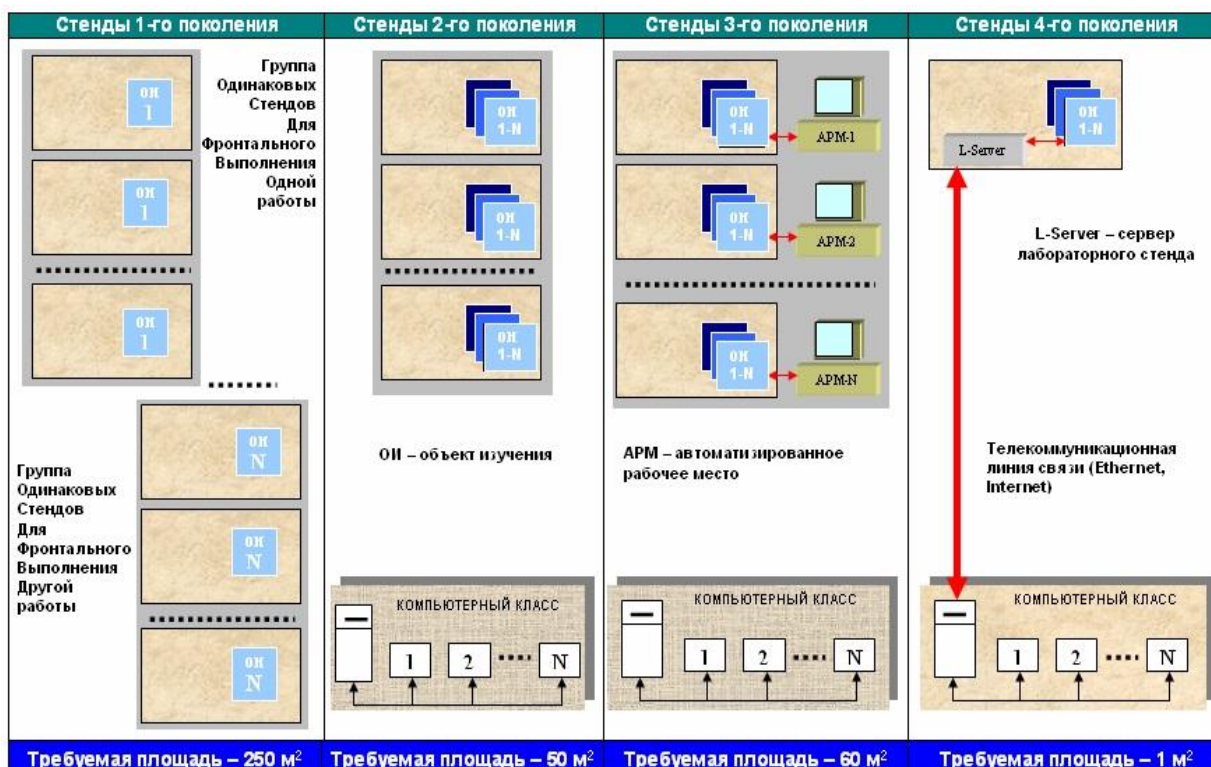


Рисунок 1.3 - Поколения лабораторного оборудования

В зависимости от способов реализации различают следующие типы лабораторных стендов:

1) Специализированные лабораторные стенды, пример изображен на рисунке 1.4. Такие стенды - это набор элементов, включающий в себя источник питания, исполнительные механизмы, различные технологические механизмы для прикрепления нагрузки и снятия показаний. Весь этот набор представлен для исследования одного объекта изучения.

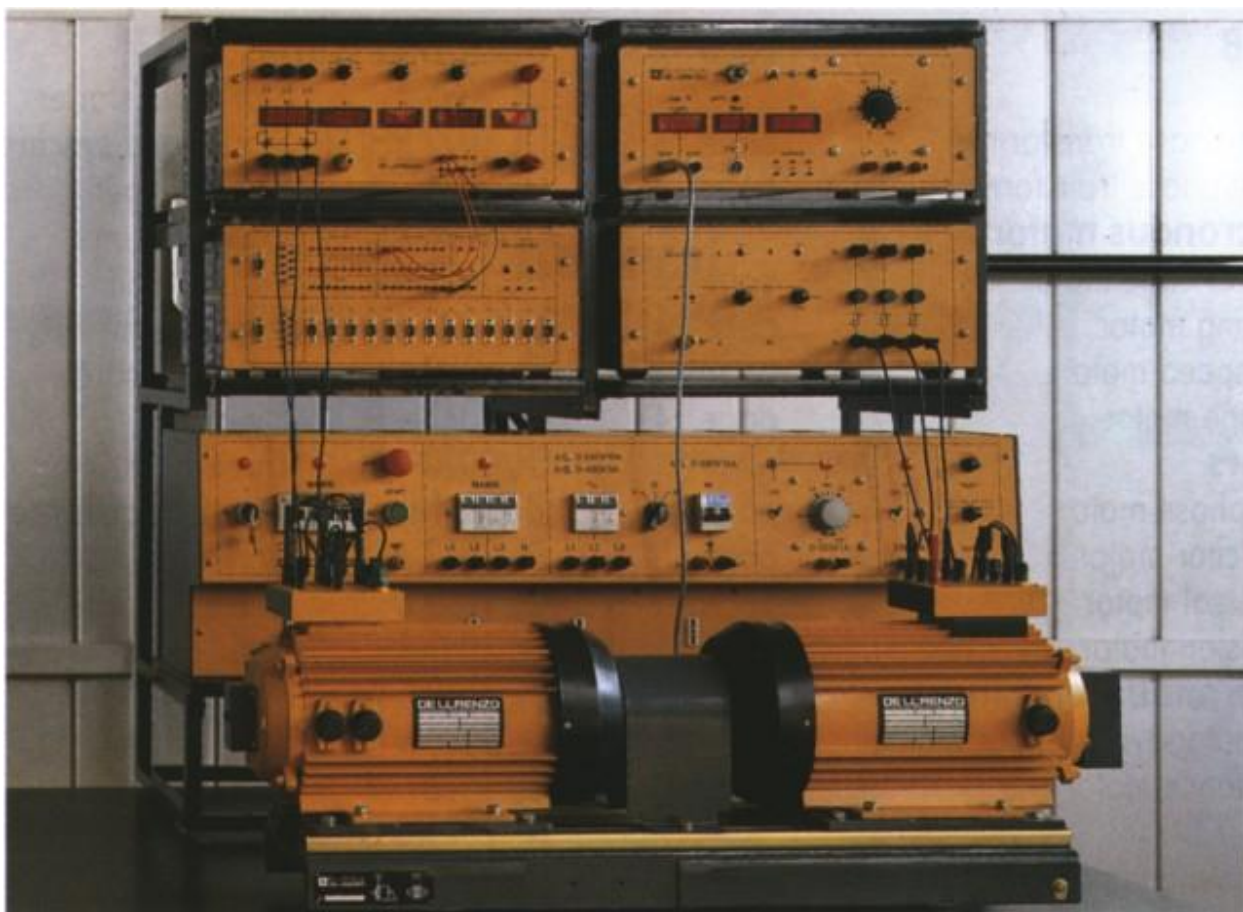


Рисунок 1.4 – Стенд первого поколения

Стенды первого поколения оснащались стрелочными измерительными приборами, а также самыми простыми ручными средствами управления, такими как контакторы, реостаты, латры. К сожалению, подобное оборудование не позволяло проводить серьёзные исследования. Вся лабораторная работа сводилась к снятию статических характеристик. Вся основная работа заключалась в обработке полученных данных и составления графиков.

Достоинство такого практикума заключалось в том, что все оборудование было настроено на узкоспециализированные задачи, касаемых одного объекта изучения. Этот фактор исключает лишнее оборудование и сокращает стоимость в пересчете на один стенд.

К недостаткам относится:

- трудно осуществляемое фронтальное проведение лабораторных работ из-за необходимости большого количества стендов;

- исходя из первой причины, резко сокращается перечень объектов исследования;

- невозможно изучать переходные процессы и многоканальное оборудования из-за несовершенства оборудования;

- требуется большое количество площади для установки стендов.

2) Универсальные лабораторные стенды или стенды второго поколения (рисунок 1.5). Отличительная особенность данных стендов заключается в том, что можно менять объект исследования.



Рисунок 1.5 - Пример реализации лабораторного стенда второго поколения

Представленный тип лабораторного стенда содержит в себе общую для всех объектов часть и оборудование, предназначенное для измерений и исполнительной части.

На таких лабораторных стендах устанавливают более совершенное оборудование, цифровые измерительные приборы, с помощью которых возможно одновременно снимать различные показания в ходе экспериментов. Помимо измерительных устройств, устанавливают более современные типы регуляторов, полупроводниковые, а также полуавтоматические исполнительные механизмы. Тем самым, учащиеся могут потратить освободившееся время на углубленное изучение исследуемого процесса.

Достоинства:

- минимизация используемого оборудования;
- простота обслуживания;
- простое осуществление реализации фронтального метода выполнения работ;
- сокращается требуемое место.

Из-за универсальности устанавливаемого оборудования, уменьшаются сроки его исправной работы, так часто меняется и переставляется. А, следовательно, увеличиваются эксплуатационные расходы.

3) Лабораторные стенды автоматизированного типа (рисунок 1.6). Автоматические стенды или стенды третьего поколения, представляют собой принципиально новый метод освоения лабораторного оборудования. Здесь впервые начали использовать оборудование для многоканального управления и комплексной обработки данных.



Рисунок 1.6 - Пример реализации лабораторного стенда третьего поколения

Третье поколение учебно-лабораторных стендов представляет собой целиком автоматизированное место для работы, в котором установлена вычислительная машина, управляющая процессом, а также устройства, которые сопрягают ее с исследуемым объектом. Измерительные приборы не устанавливаются, их заменяют аналогичными датчиками, устанавливающимися модулями на вход и выход сопрягающего устройства. На вычислительную машину подаются команды, которые передаются исполнительным частям посредством выходных модулей.

Что касается будущего специалиста, который проводит опыт, то его обязанности несколько изменились. К примеру, больше не нужно поддерживать режим проведения эксперимента, обрабатывать результаты, строить графики и

прочее – все это делает вычислительная машина. Другими словами, роль экспериментатора перешла в роль оператора.

Достоинства третьего поколения лабораторного оборудования:

- Целиком убираются действия, связанные с ручной работой, составление графиков, выполнение расчетов и т.д. Соответственно, появляется время на углубленное изучение исследуемого объекта.

- Возможность произвести раннее моделирование, то есть перед основным экспериментом. Это позволит предупредить фатальные ошибки в процессе основного моделирования, а также дает возможность тщательно осмыслить проводимый эксперимент.

- Возможность в многоканальном режиме управления производить исследование статических и динамических характеристик исследуемого объекта, задаваясь весьма сложными алгоритмами.

Основной недостаток лабораторного оборудования третьего поколения заключается в непродуктивном использовании вычислительных устройств. Подключение к каждому лабораторному стенду отдельного персонального компьютера является затратным. Помимо этого, нагрузка на персональные компьютеры крайне мала.

4) Стенды четвертого поколения – реализация удаленного коллективного доступа (рисунок 1.7). Здесь инженеры – разработчики постарались исправить недостатки стенда предыдущего поколения, но в то же время сохранили все его преимущества.



Рисунок 1.7 - Пример лабораторного стенда четвертого поколения

В четвертом поколении в отличие от третьего поколения лабораторных стендов на вычислительную машину возлагаются обязанности сервера для удаленного доступа. В связи с этим достигается возможность группового доступа к одному стенду, вне зависимости на каком расстоянии друг от друга они находятся. Кроме того, в [34, 36], упомянуто, что благодаря

моделированию решаются многие проблемы в сфере электроэнергетики: «The usual practice to study a large power system is through digital computer simulation. However, the impact of large-scale use of small distributed generators on a power network cannot be evaluated strictly by simulation since many of these components cannot be accurately modelled. Moreover, the network complexity makes the task of practical testing on a physical network nearly impossible».

Основные достоинства такого подхода реализации лабораторного оборудования очевидны:

- сокращается количество используемого оборудования, а, следовательно, занимаемые площади и обслуживающий персонал.

- появляется возможность поиска индивидуального пути решения возникшей проблемы в ходе проведения лабораторного практикума.

- убираются временные рамки, так как стенды такого типа имеют возможность работать круглосуточно.

Недостатком является то, что необходимо создать и поддерживать в рабочем состоянии сетевую архитектуру, а именно программное обеспечение, написание протоколов передачи массивов, данных и других технических ресурсов.

Рассмотрим такое понятие как учебно-методический комплекс. Это совокупность программных, технических, программно-технических и учебно-методических средств, которые обеспечивают полный перечень образовательных услуг, необходимых для самостоятельного изучения необходимой дисциплины в системе открытого технического образования.

Учебно-методические комплексы можно разделить, по способу реализации, на следующие типы:

- 1) Централизованный. Весь комплекс образовательных услуг содержится в рамках одного вуза. Обычно, там, где разрабатывался данный учебно-методический комплекс, и представляется гарантия для открытого доступа к образовательным ресурсам, бесперебойная работа и постоянная модернизация с учетом развития применяемых технологий.

2) Децентрализованный. В этом случае отдельные типы образовательных услуг, относящихся к изучению конкретным объектам изучения, находятся в разных вузах. Такой метод оправдывает себя, когда изучаются комбинированные дисциплины, такие как физика и прочие.

1.7 Выводы по главе 1

1. Рассмотрены особенности технического образования. Основная особенность – применение практических лабораторных практикумов.

2. Произведен анализ различных видов лабораторных практикумов. Анализ показал, что основной недостаток сегодня существующих многих практикумов, является то, что студент не получает практических навыков.

3. Проанализированы различные типы реализации лабораторного оборудования на основании лабораторных практикумов разных поколений. Каждое поколение имеет свои достоинства и недостатки. Их анализ показывает, что на сегодняшний день не существует универсального типа реализации лабораторного оборудования.

2 Сети номинальным напряжением до 1000 вольт

2.1 Общие сведения

Электросети по напряжению подразделяются на сети до тысячи вольт и выше тысячи вольт. В рамках ВКР будут затронуты только электросети номинальным напряжением, не превышающим один киловольт.

Сети до тысячи вольт распространены повсеместно. От них питаются электроустановки, такие как:

- электроинструмент;
- станки (деревообрабатывающие, токарные, металлообрабатывающие, шлифовальные и пр.);
- осветительные и др.

Кроме перечисленных электроустановок сети с номинальным напряжением до тысячи вольт питают потребителей бытовых нужд, а это значит, что напряжение в сетях квартир и домов, в которых мы живем составляет 220/380 вольт. Другими словами, везде, где каждый день бывает человек, присутствуют сети номинальным напряжением до тысячи вольт. Именно поэтому, из-за каждодневного использования таких сетей и повсеместной распространенности, их следует изучать.

Во время обучения в университете, студенты проходят в обязательном порядке вводный и первичный инструктажи, но крайне редко обучающиеся имеют возможность, в стенах своего ВУЗа, получить группу допуска по электробезопасности. Поэтому для безопасного проведения лабораторных работ, с элементами монтажно-наладочных работ, обязательно присутствие инженера, прикрепленного к учебной лаборатории, с группой допуска не ниже третьей. Для обучения студентов практическим основам инженерного дела, используются сети именно до 1000 вольт. Получение практических навыков целесообразно производить в сетях низкого напряжения, так как:

- 1) Это гораздо безопаснее;

2) С точки зрения науки, сети номинальным напряжением выше тысячи вольт имеют сравнительно малые отличия от сетей номинальным напряжением до тысячи вольт. Получив практические навыки по монтажу и наладке электроустановок до тысячи вольт, молодой специалист сможет в дальнейшем аналогично применить их в работе в сетях выше тысячи вольт.

2.1.1 Основные положения о сети напряжением до 1000 В

Значения напряжений определяются напряжением силовых электрических сетей до тысячи вольт, которые приняты для силовых электроприемников, таких как:

1) Система трехфазного переменного тока с номинальным напряжением 660 В с изолированной нейтралью. Как правило, максимальные токи составляют шестьсот тридцать ампер.

2) Система трехфазного переменного тока 380 В с изолированной нейтралью. Как правило, максимальные токи составляют шестьсот тридцать ампер.

Основные плюсы напряжения 660 В:

- наиболее экономичное использование цветного металла;
- снижаются потери электроэнергии;
- перевод более дорогих электродвигателей, рассчитанных на напряжение шесть киловольт и три киловольта, средней мощностью на напряжение 660 В с более высоким их коэффициентом полезного действия, но есть и исключения;
- вследствие того, что проводники меньшего сечения монтаж, демонтаж и обслуживание осуществлять проще.

Основные минусы напряжения 660 В:

- нет возможности запитать силовую часть и осветительную от одного проводника. Для питания осветительных установок необходима установка трансформаторов с первичным напряжением 6, 10, 0,6 кВ;

- проблемы установки измерительной аппаратуры, поскольку требуется установка дополнительных трансформаторов;
- изготовление отдельных механизмов только с электроприемниками 380 В;
- на сегодняшний день большое количество оборудования, рассчитанное на 660 В, снято с производства;
- нет возможности использовать для цепей управления;
- повышенная опасность.

Плюсы напряжения 380/220 В:

- от одного проводника возможно запитать цепь управления, силовую часть, освещение;
- сравнительно малое напряжение между землей и проводником.

Для того чтобы выбрать, какое напряжение использовать, производится технико-экономический расчет. В расчете учитываются все потребители, а именно удельная нагрузка на один квадратный метр используемой площади, потери в трансформаторах и на линии, а также все требуемое оборудование.

Кроме стационарного оборудования, нередко используется передвижное. В соответствии с ПУЭ 1.7.95 питание такого оборудования необходимо.

Согласно нормам, если помещение, в котором производятся ремонтные работы, является тесным и велик риск соприкосновения с токоведущими частями и поражением электрическим током, то для питания переносных осветительных приборов используются приборы напряжением не выше 12 В.

Питание переносных электроприемников, рассчитанных на пониженное напряжение, предусматривается от стационарных трансформаторов с помощью разъемов.

2.1.2 Режимы нейтрали сети до 1000 В

Необходимый для сетей напряжением до 1000 вольт, выбор режима нейтрали, главным образом, обусловлен безопасностью обслуживания сетей [11,30].

В сетях напряжением до 1 кВ применяются только два типа нейтрали, такие как:

- заземленный;
- изолированный.

Широкий класс сетей 380/220 В требует глухого заземления нейтрали (рисунок 2.1).

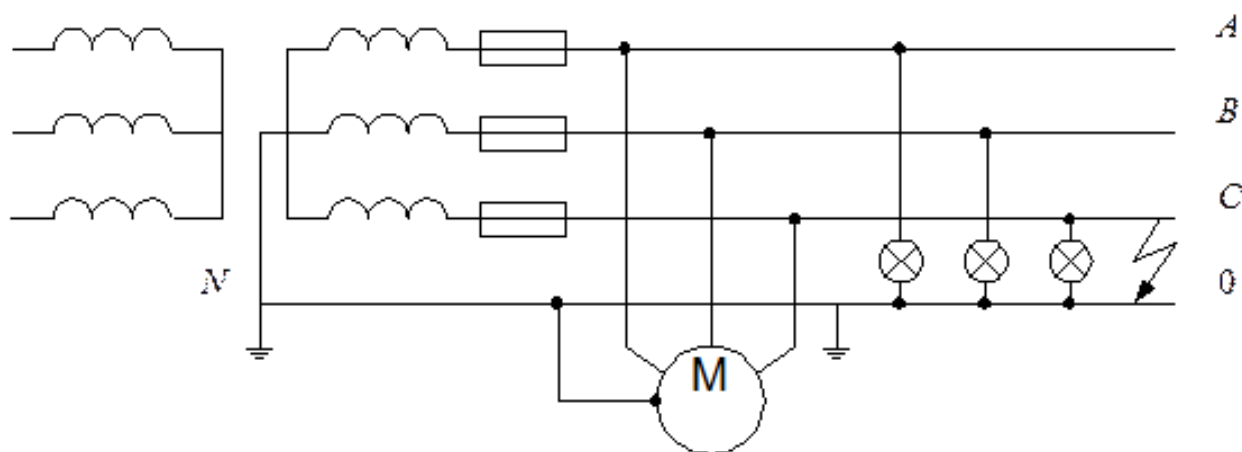


Рисунок 2.1 - Схема сети 380/220 В с глухо заземлённой нейтралью

Достаточно часто корпус электрооборудования, запитанный с помощью трех фаз и нулевого провода, а также другие части электроустановки обязаны иметь металлическую связь с нейтралью установки, которая заземлена. Такая связь осуществляется через нулевой провод, который проходит по тем же опорам воздушной линии, где и провода фаз. В этом случае, если произойдет замыкание на корпус любой фазы линии, то произойдет замыкание с большими токами короткого замыкания, следовательно, предохранитель на неисправной

фазе перегорит, и работа продолжится в неполно-фазном режиме. Потенциал двух других фаз по отношению к земле не превысит фазного напряжения.

Сети с изолированной нейтралью в случае короткого замыкания работают следующим образом – сеть продолжит работать в полно-фазном режиме, но потенциал двух оставшихся фаз, относительно земли, увеличится до линейного. Соответственно, увеличится риск травматизма и поражения электрическим током обслуживающего персонала, поэтому необходимо во всех электроустановках, где используется такая нейтраль, обеспечить контроль изоляции, а также осуществлены меры по обнаружению персоналом короткого замыкания в кратчайшие сроки.

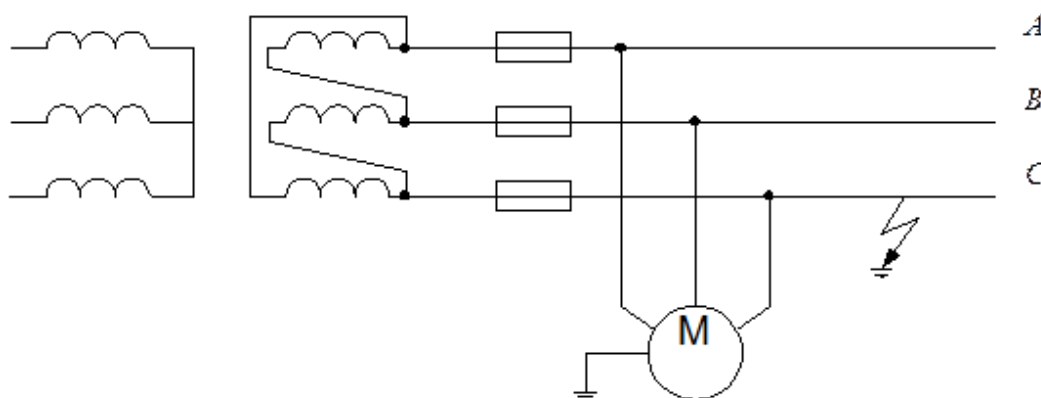


Рисунок 2.2 - Сеть 660 В с изолированной нейтралью

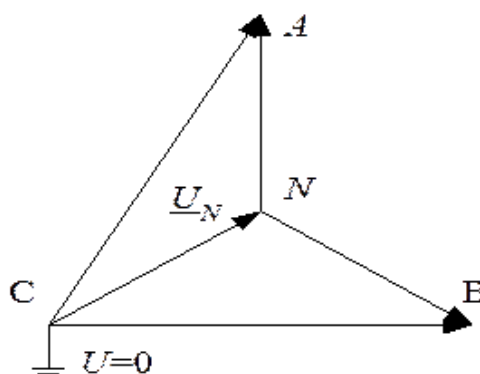


Рисунок 2.3 - Векторная диаграмма напряжений при замыкании фазы на землю

2.1.3 Типы заземления сетей

Режимы заземления нейтрали в сетях 0,4 кВ перечислены в правилах устройства электроустановок (ПУЭ) [27]. Все эти режимы заземления утверждены международной электротехнической комиссией (МЭК). Многие специалисты исследуют проблемы связанные с заземлением, например в [37]: «A test field with 4 grounding meshes of different geometric configurations was implemented and used to evaluate the quality of the results obtained in this study. Two analytical models found in the technical literature (ABNT Standard and Laurent's equation) and four different methods of numerical simulation (TLM - transmission line method, FEM -finite elements method, PM - potential method, CEEE computing platform) were used to evaluate the phenomenon and estimate the grounding resistance for the 4 meshes of the test field».

Режим заземления нейтрали и открытых проводящих частей обозначается двумя буквами:

1) Показывает, какой режим заземления используется для источника питания.

2) Проводящие части, которые открыты.

Для обозначения принято использовать следующие буквы:

- T (terre - земля) заземлено;
- N (neutreneйтраль) присоединено к нейтрали источника;
- I (isole) изолировано.

МЭК и ПУЭ учитывают 3 различных режима заземления нейтрали и открытых проводников:

1) TN – глухо заземлённая нейтраль, корпуса используемого электрооборудования соединены с нейтральным проводом;

2) TT – источник и используемое электрооборудование глухо заземлено, заземление раздельное;

3) IT – корпуса используемых электроприборов глухо заземлены, нейтраль заизолирована или заземлена через приборы с большим сопротивлением.

В свою очередь, режим заземления с маркировкой TN бывает трех видов:

1) TN-C – буква «С», это первая буква слова combined, что в переводе смешанный, а это означает что в этом режиме заземления нулевой рабочий и защитный проводник объединены на всем отрезке. Объединенный нулевой проводник принято называть PEN (protective earth neutral, что в переводе защитная земля, нейтраль);

2) TN-S – рабочий нулевой проводник и защитный проводник на всем отрезке разделены, об этом говорит бук S в обозначении режима (S от англ. separated раздельный);

3) TN-C-S – рабочий нулевой и защитный проводник объединены на необходимых участках трассы сети (PEN), а все остальное время разделены (N и PE).

Проведем сравнительный анализ возможных режимов нейтрали и открытых проводников в сети 0,4кВ. Опишем преимущества и недостатки. Критерии, с помощью которых происходит сравнение:

- электробезопасность (защита от поражения людей электрическим током);
- пожаробезопасность (вероятность возникновения пожаров при коротких замыканиях);
- бесперебойность электроснабжения потребителей;
- перенапряжения и защита изоляции;
- электромагнитная совместимость (в нормальном режиме работы и при коротких замыканиях);
- повреждения электрооборудования при однофазных коротких замыканиях;
- проектирование и эксплуатация сети.

До сегодняшнего дня сети 0,4 кВ с аббревиатурой TN-C были распространены крайне сильно на всей территории РФ.

В случае, если в сети TN-C (рисунок 2.4) из-за испорченной изоляции проводника происходит короткое замыкание на одной из фаз, то предохранитель этой фазы перегорает или срабатывает автоматический выключатель, тем самым обесточивая не рабочую фазу. Соответственно, делаем вывод, когда от замыканий на корпус защищали предохранители или автоматические выключатели – режим TN-C занимал лидирующие позиции среди остальных режимов. В то время обеспечение электробезопасности являлось не главной задачей.

При сравнительно малых значениях токов короткого замыкания на одной фазе, время, за которое происходит отключение, сильно возрастает. При этом возрастает риск поражения человека электрическим током. К примеру, в случае короткого замыкания на корпус, защита, для выполнения требования безопасности, должна сработать за время 0,2 секунды. Такое время отключения, предохранители и автоматические выключатели выдерживают в случае увеличения токов примерно в 6-10 раз от номинальных значений. Таким образом, основной проблемой сетей с заземлением типа TN-C является обеспечение должной степени электробезопасности. Кроме того, в данной сети при коротком замыкании в одной фазе на корпус электроприемника возникает такое явление, когда потенциал по нулевому проводнику переходит на корпуса неповрежденного оборудования, в том числе никак не задействованного. Этот фактор умножает вероятность поражения людей, работающих с данным электрооборудованием. Переход напряжения на все корпуса с занулением происходит и во время однофазного короткого замыкания на питающей линии через небольшое сопротивление. Во время такого короткого замыкания, на нулевом проводе, а также на всех зануленных корпусах, появляется напряжение, близкое к фазному. Еще одна из значительных проблем данного типа сети, является обрыв нулевого провода. В случае такого обрыва, всё

оборудование, после места обрыва, которое присоединено к этому нулевому проводу, окажется под фазным напряжением.

Еще один недостаток сетей типа TN-C является то, что устройства защитного отключения (УЗО) не срабатывают. На западе УЗО пишется – RCD residual current devices.

Во время пожара сети TN-C ведут себя крайне нестабильно. Во время коротких замыканий на одной фазе значения токов достигает килоампер, эти токи и вызывают возгорание. Сложность ситуации в том, что возникают однофазные КЗ через большое переходное сопротивление, когда ток КЗ сравнительно мал и защиты не реагируют или реагируют с большой выдержкой времени.

При возникновении короткого замыкания приходится отключать присоединение из-за большой величины тока. Поэтому обеспечение бесперебойной работы в сети типа TN-C не осуществляется.

Во время протекания короткого замыкания на одной из фаз, напряжение на неповреждённых фазах увеличивается на сорок процентов. Также, сети типа TN-C характеризуются наличием в них электромагнитных помех. Происходит это из-за того, что в нормальном режиме работы, при рабочем токе на нулевом проводнике происходит падение напряжения, поэтому между двумя точками на проводнике будет образовываться разность потенциалов. Все это способствует протеканию токов по корпусам оборудования, оболочкам кабелей и т.д.

Из-за протекания токов короткого замыкания сильно снижается срок службы изоляции кабелей и портится сталь статоров электродвигателей. Для того что бы всего этого не происходило, либо для того, чтобы значительно минимизировать подобные случаи, при проектировании объекта замеряют сопротивления всех проводников и подключаемых объектов, чтобы установить параметры защиты в нужном диапазоне. Производят измерение сопротивления петли фаза-нуль. В случае какого-то изменения в сети – обязательно производится пере замер и установки защиты выставляются заново.

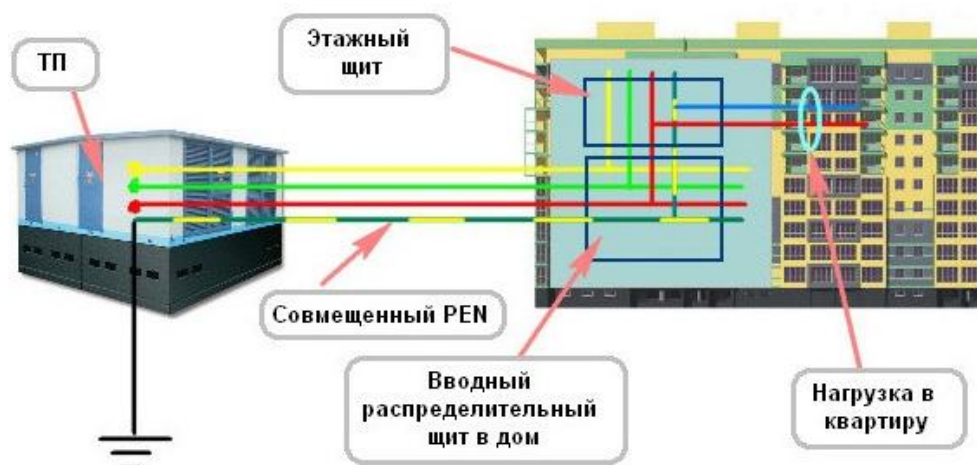


Рисунок 2.4 – Заземление типа TN-C

Следующий рассматриваемый тип сети это TN – S или пяти проводная сеть (рисунок 2.5). В данном типе сетей нулевые проводники, рабочий и нейтраль, разделены. Так же, как и в сети типа TN-C, при косвенном прикосновении до проводника велик риск поражения электрическим током, поскольку на корпусе неисправного аппарата будет опасное напряжение. Но, в сетях типа TN-S используют устройства защитного отключения, благодаря установке этих устройств уровень электробезопасности существенно выше. Во время возникновения короткого замыкания сеть типа TN-S ведет себя так же, как и сеть TN-C, а именно происходит процесс выноса потенциала, но быстрота срабатывания УЗО обеспечивает безопасность. В случае обрыва нулевого рабочего провода – фазное напряжение на зануленных электроприемниках после точки обрыва не появится.

Благодаря применению УЗО в сетях типа TN-S уровень пожаробезопасности сильно возрос, а связано это с тем, что УЗО чувствительна к развивающимся дефектам, тем самым предотвращая возможные короткие замыкания.

Уровень бесперебойной работы такой же, как и у сетей типа TN-C.

В сравнении с сетями типа TN-C, сети типа TN-S, в нормальном режиме функционирования, имеют лучшую электромагнитную обстановку. Этот факт

обусловлен тем, что рабочий нулевой проводник проходит отдельно и токи не протекают по сторонним путям.

Вследствие того, что в сетях TN-S возможна установка УЗО, количество повреждений при однофазном коротком замыкании меньше, чем сети TN-C. Устройство защитных отключений устраняет неисправность в начальной стадии.

При проектировании сетей TN-S закладывается гораздо большая сумма, нежели при проектировании сетей TN-C, а связано это с тем, что необходимо учесть установку защит и наличие пятого провода.

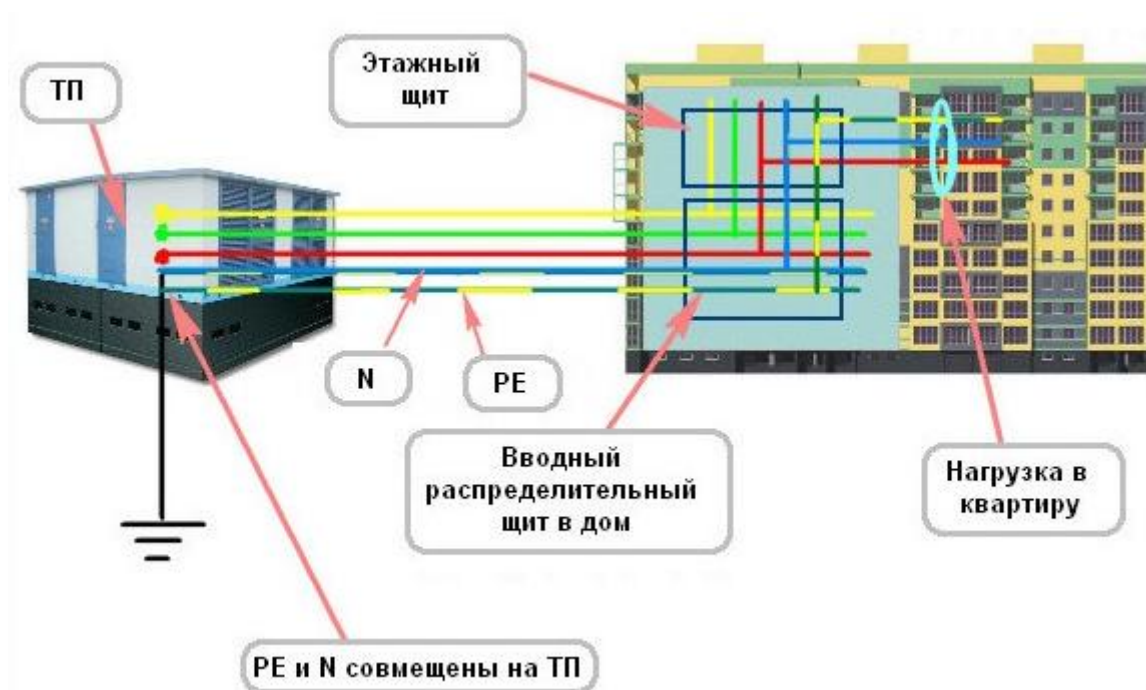


Рисунок 2.5— Заземление типа TN-S

В электроэнергетике существует некий симбиоз двух описанных выше типа сетей - TN-C-S (рисунок 2.6). Такая сеть обладает теми же преимуществами и недостатками, что и каждая сеть в отдельности. Такой тип сети был придуман с целью удешевления проекта и увеличения электробезопасности.

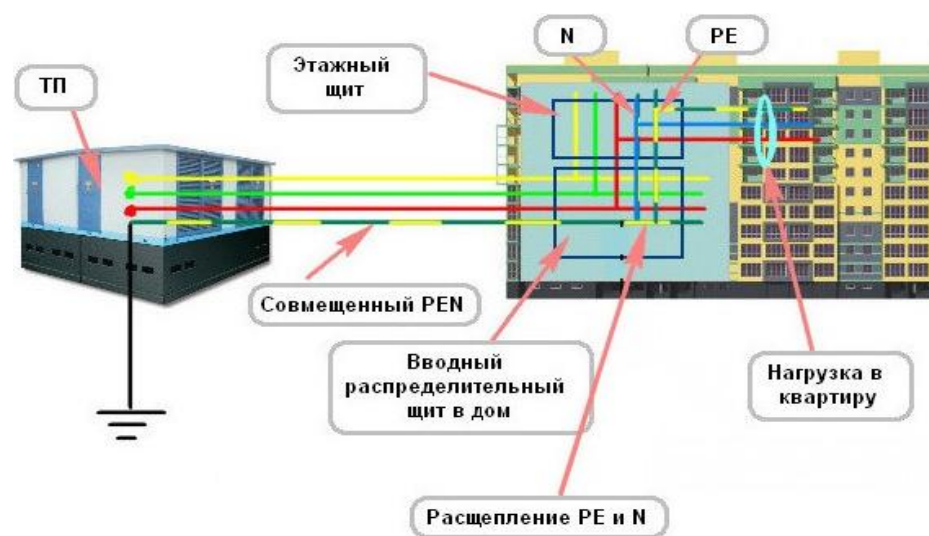


Рисунок 2.6 – Заземление типа TN-C-S

Следующий тип сетей – ТТ или сеть с «глухо» заземленной нейтралью (рисунок 2.7). Основная особенность данного типа сетей заключается в том, что открытые части электроприёмников, которые проводят ток, соединены с «землёй», которая, в свою очередь, обособлена от заземления питающей ПС.

В сетях типа ТТ обязательно устанавливается УЗО, тем самым осуществляется условия электробезопасности. Но несмотря на устройства защиты, сети типа ТТ не обеспечивают должный уровень безопасности при повреждении изоляции или пробоя на корпус электроприемника. Связано это с тем, что сопротивления заземлителей от питающей ПС и к которому присоединены электроприемники – равны. Поэтому в случае однофазного короткого замыкания возникает напряжение прикосновения, равное половине фазного. Такое напряжение небезопасно для человека или животного и его необходимо отключить максимально быстро. Но это не происходит, поскольку величина напряжения и протекающего в этот момент тока слишком малы для срабатывания защиты.

Из-за небольшой величины однофазного тока и быстрого действия защиты при КЗ, пожаробезопасность сетей типа ТТ, в сравнении с типами сетей описанными выше, существенно велика.

Бесперебойность не обеспечивается – при КЗ требуется отключение присоединения.

В сети ТТ во время КЗ на землю на рабочих фазах напряжение повышается относительно земли. Если условиться, что сопротивление нулевого провода равно 0,5 Ом, следовательно, напряжение на нейтрали составит половину фазного. А как описано ранее, такой скачок напряжения для изоляции не опасен, а однофазные КЗ являются быстро устранимыми с помощью УЗО, поэтому чаще всего такие неисправности не доходят до своего максимума.

Количество поврежденного в результате короткого замыкания электрооборудования по сравнению с типами сетей описанными ранее, крайне мало, связано это с небольшой величиной тока и установкой УЗО.

При проектировании сетей типа ТТ нет нужды ограничиваться длиной линии или знать полное сопротивление петли КЗ – все это компенсирует установка УЗО. В дальнейшем при каких-либо изменениях в сети нет надобности пересчитывать линию.

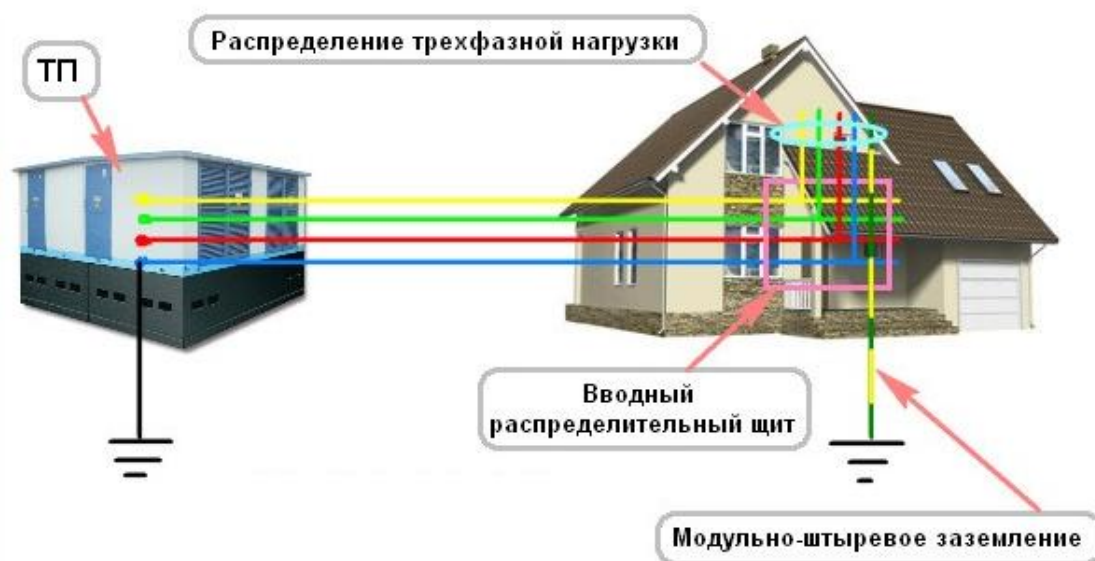


Рисунок 2.7 – Заземление типа ТТ

Сети называются IT в случае, если выполняются следующие условия:

- нейтральная точка изолирована;
- защитный проводник отделен от нейтрального.

В данной сети электробезопасность имеет наиболее высокую оценку, по сравнению с типами сетей описанными ранее. Причиной тому служат сравнительно малые токи короткого замыкания, которые не требуют немедленного отключения, а также устройства защитного отключения.

Опять же, исходя из того, что величина токов КЗ в сетях такого типа мала, следует, что пожаробезопасность самая высокая, если сравнивать с сетями, описанными выше.

При возникновении короткого замыкания, в сети типа IT, отключать потребителей нет необходимости, а это значит, что эти сети обладают высокой бесперебойностью (рисунок 2.8).

В случае короткого замыкания на одной фазе неповрежденные фазы имеют напряжение в $\sqrt{3}$ раз больше, чем было. В случае если отсутствует сопротивление через резистор, может возникнуть дуговое перенапряжение.

Электромагнитные возмущения в сетях IT невелики, так как величина тока однофазного КЗ мала и, практически, не создает падений напряжения на защитном проводе.

В сетях подобного рода, оборудование повреждается крайне редко. Для того чтобы найти место пробоя сети, необходимо специальное оборудование и специально обученный персонал.

Чаще всего сети IT используют, когда возникает необходимость в бесперебойном питании.

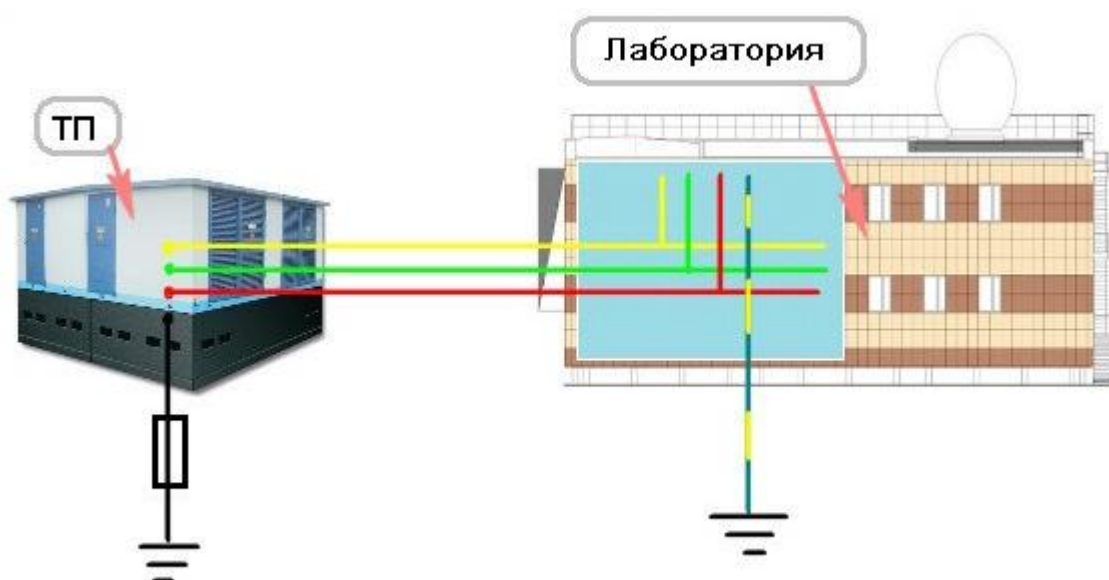


Рисунок 2.8 - Заземление типа IT

2.2 Электрозащитные средства в электроустановках до 1000 В

Как известно, ток является одним из самых опасных природных явлений. Поэтому для защиты людей, которые работают с электрическим током непосредственно в электроустановках, были изобретены специальные защитные средства.

По назначению, средства, предназначенные для электрозащиты в электроустановках напряжением до 1 кВ делятся на:

- а) изолирующие;
- б) ограждающие;
- в) вспомогательные.

Для того, чтобы изолировать человека от частей электроустановок, по которым протекает электрический ток, применяют изолирующие средства защиты, они же делятся на два типа:

1) Основные, к таким типам средств защиты относятся средства, способные выдерживать рабочее напряжение электроустановки. С помощью них возможно касаться токоведущих частей, находящихся под напряжением (рисунок 2.9).

К основным изолирующим средствам относятся:

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



Рисунок 2.9 – Основные средства защиты

2) Дополнительные средства защиты. Дополнительными эти средства названы не случайно, так как по отдельности они не обеспечивают защиту человека от воздействия электрического тока. Данные средства защиты применяются комплексно с основными, как вспомогательные (рисунок 2.10).

К дополнительным средствам защиты относятся:

- стеклопластиковые подставки и стремянки;
- диэлектрические коврики (резиновые);
- диэлектрические боты.



Рисунок 2.10– Дополнительные средства защиты

Следующий тип защитных средств – ограждающие. Их предназначение – оградить от нежелательного прикосновения до токопроводящих частей, либо предупредить не желательное включение коммутационной аппаратуры (рисунок 2.11).

К ограждающим защитным средствам относятся:

- переносные ограждения;
- разного вида щиты;
- накладки для изоляции;
- переносные заземления.



Рисунок 2.11 – Ограждающие средства защиты

Для защиты от возможных тепловых воздействий или для соблюдения техники безопасности при работе на высоте существуют вспомогательные или предохранительные средства защиты (рисунок 2.12).

К вспомогательным средствам защиты относятся:

- предохранительный пояс;
- канаты для страховки;
- верхолазные когти;
- защитные очки;
- рукавицы;
- противогазы.

ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ



Рисунок 2.12 - Предохранительные средства защиты

Все электрические приборы, прежде чем их принимать в работу, проходят поверку, данные мероприятия прописаны в ПУЭ.

Согласно регламенту проведения работ в электрических установках, каждый член бригады снабжается всеми необходимыми средствами защиты. Эти мероприятия необходимы для соблюдения правил техники безопасности на рабочем месте.

После поверки, инструмент и средства защиты нумеруются и получают бирку, которая свидетельствует о дате прохождения поверки и дате следующей поверки.

В сетевых организациях, непосредственно на подстанциях, на заводах ведется журнал учета поверки средств защиты. В таких журналах отмечается, когда была произведена поверка средств, дата следующей поверки, номер, название. Раз в полгода лицо, ответственное за средства защиты, проверяет данный журнал.

Сведения о средствах защиты, выданных в личное пользование, также содержатся в журнале учета.

При эксплуатации электрозащитных средств, возникает необходимость проводить их периодические испытания осмотрам, таблица 2.1.

Таблица 2.1 – Сроки осмотра и испытаний защитных средств

Защитные средства	Периодичность	
	Испытаний	Осматров
Клещи изолирующие	1 раз в два года	1 раз в год
Клещи измерительные	1 раз в год	1 раз в полгода
Указатели напряжения	1 раз в год	1 раз в полгода
Перчатки резиновые диэлектрические	1 раз в полгода	Перед применением
Галоши резиновые диэлектрические	1 раз в год	Перед применением
Коврики резиновые диэлектрические	1 раз в два года	1 раз в год
Изолирующие подставки	-	1 раз в три года
Инструмент слесарно- монтажный с изолирующими рукоятками	1 раз в год	Перед применением

Общие правила пользования защитными средствами следующие:

- электрозащитные средства должны использоваться по их непосредственному назначению в электроустановках напряжением не выше того, на которое они рассчитаны;

- основные изолирующие средства рассчитаны на использование в закрытых установках, а в открытых электроустановках и воздушных линиях они применяются только в сухую погоду.

Перед применением средств защиты персонал обязан провести его визуальный осмотр на наличие повреждений (трещин, сколов и пр.), кроме того средства защиты необходимо содержать в чистоте

Использование средств защиты с истекшим сроком годности строго запрещается.

Основные критерии, предъявляемые к инструменту, используемому при монтаже, следующие:

- длина > 100 миллиметров;
- влагостойкое изолированное покрытие;
- быть исправным.

2.3 Измерительное оборудование в сетях напряжением до 1000 вольт

2.3.1 Измерительное оборудование последовательного и параллельного включения

При различных ремонтных или наладочно - монтажных работах необходимо производить замер требуемых величин, будь то величина тока, разности потенциалов или сопротивления. Для измерения каждой из величин существует отдельный прибор, а именно:

- амперметр, для измерения тока;
- вольтметр, для измерения напряжения;
- мегаомметр для измерения большой величины сопротивления.

Каждый из приборов имеет свои характеристики и особенности.

Амперметр включается в сеть последовательно с приемником электрической энергии.

Прибор амперметр изготавливается с малым внутренним сопротивлением, это необходимо, чтобы прибор не оказывал стороннего влияния на работу электрических установок, а также для того, чтобы минимизировать потери электроэнергии. Учитывая этот факт, при расчетах, сопротивление прибора берут равным нулю. Как написано ранее, подключение амперметра производится последовательно с нагрузкой, это обусловлено тем, что если прибор подключить к источнику «напрямую», то через катушку прибора будет протекать ток большой величины, вследствие чего прибор придет в неисправность.

Шкалу прибора градуируют в мкА, мА, А и кА, и в зависимости от требуемой точности и пределов измерения выбирают подходящий прибор. Увеличение измеряемой силы тока достигают путем включения в цепь шунтов, трансформаторов тока, магнитных усилителей. Это позволяет увеличить предел измеряемой величины тока.

По типу амперметры делятся на (рисунок 2.13):

- стрелочные;
- цифровые.



а)



б)

Рисунок 2.13– стрелочный (а) и цифровой (б) амперметры.

По принципу действия амперметры подразделяются на:

1) Электромагнитные – предназначены для использования в цепях постоянного и переменного тока. Чаще всего применяются в ЭУ частотой 50 Гц.

2) Магнитоэлектрические - предназначены для фиксации силы тока малых значений постоянного тока. Они имеют магнитоэлектрическое измерительное устройство и шкалу с проградуированными делениями.

3) Термоэлектрические приборы предназначены для измерения силы тока в цепях высоких частот.

4) Ферродинамические приборы - состоят из замкнутого магнитопровода, выполненного из ферромагнитного материала, сердечника и неподвижной катушки. Характеризуются высокой точностью измерения, надёжностью конструкции и низкой чувствительностью к воздействию электромагнитных полей.

5) Электродинамические устройства предназначены для замеров величины силы тока в цепях постоянного и переменного токов повышенных частот (до 200 Гц).

6) Цифровые амперметры – современная модель приборов, сочетающая преимущества аналоговых приборов.

На практике для измерения величины силы тока кроме амперметра используют токовые клещи (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Токовые клещи

Использование токовых клещей обусловлено простотой их подключения к измеряемому участку. Клещи размыкаются, в них пропускается проводник, рукоятка отпускается и клещи замыкаются.

Для измерения разности потенциалов между двумя точками используется прибор – вольтметр. Подключение вольтметра происходит параллельно исследуемому участку электрической цепи.

Вольтметры изготавливаются с большим внутренним сопротивлением, это необходимо, чтобы прибор не создавал больших потерь электроэнергии. При расчетах, током, протекающим через вольтметр, пренебрегают.

Для того, чтобы расширить диапазон измеряемого напряжения, последовательно с прибором устанавливают добавочное сопротивление.

По способу установки вольтметры делятся на:

- стационарные, предназначены для мест, где требуется постоянный контроль за напряжением;
- щитовые, предназначены для установки в щитах и на панелях;
- переносные, для использования в любом месте.

По назначению, вольтметры делятся:

1) Вольтметры переменного/постоянного тока, используются для измерений в сетях с соответствующим типом тока;

2) Селективные – могут отделять гармоническую составляющую сложного сигнала, и определять среднеквадратическое значение напряжения.

3) Импульсный вольтметр обычно используют для измерений амплитуды постоянных импульсных сигналов, а также они способны точно определить амплитуду одиночного импульса.

4) Фазочувствительные приборы могут измерять изменения составляющих комплексных напряжений.

По принципу действия различают цифровые и электромеханические приборы (рисунок - 2.15).



а)



б)

Рисунок 2.15 – Вольтметр цифровой (а) и электромеханический (б)

На сегодняшний день для удобства используют мультиметры. Это приборы, включающие в себя комбинацию приборов, позволяющих осуществлять замер токов, напряжений и малой величины сопротивлений (рисунок – 2.16).

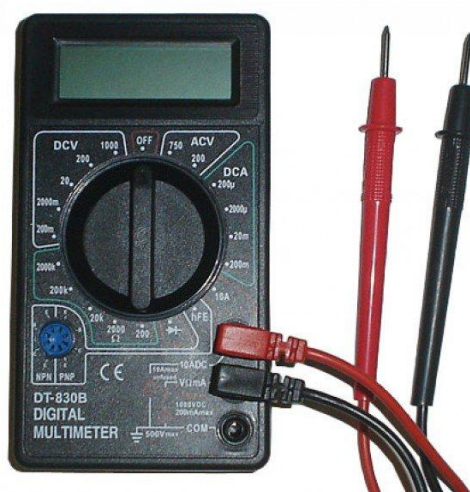


Рисунок 2.16 - Цифровой мультиметр

Измерение сопротивления проводников, малых значений, конечно, удобно производить мультиметром, для измерения больших величин сопротивления необходим прибор – мегаомметр.

2.3.2 Измерительное оборудование для замеров сопротивления изоляции

Как отмечалось ранее, мегаомметр - это прибор, служащий для измерения большого значения сопротивления:

- диэлектриков, для изоляции кабелей;
- изолированных проводов двигателей, трансформаторов, телекоммуникационных установок.

Кроме того, использование мегаомметра возможно для определения поверхностных и объемных сопротивлений изоляции, определение таких параметров позволяет оценить безопасность использования установки.

Главное отличие мегаомметра от омметра заключается в том, что первым производят замеры сопротивления при большом значении напряжения, а напряжение он сам и генерирует.

2.3.3 Принцип работы электромеханического мегаомметра

Основная задача прибора – мегаомметра заключается в том, чтобы навести напряжение на измеряемых концах кабеля или обмотки электрической машины и измерить ток, который проходит по заданной цепи. Данная задача помогает определить сопротивление изоляции.

Раньше, для создания напряжения применялись электромеханические машины на постоянном токе. С помощью рукоятки, размещавшейся на корпусе приборы, приводили в движение ротор прибора. При вращении генератор должен был выдавать номинальное напряжение, для этого ручку крутили с частотой сто двадцать оборотов в минуту (рисунок 2.17).



Рисунок 2.17 - Мегаомметр М4100

Конструкция мегаомметров такого типа применялась в приборах М4100, но и по сегодняшний день встречаются приборы с таким механизмом работы. Главное достоинство таких приборов является то, что они не требуют подключения к сети, батарей или аккумуляторов. Но недостатков намного больше:

- При снятии показаний, необходимо крепко держать прибор иначе показания будут не точные.
- Показания меняются от скорости вращения, необходимо держать установленные обороты.
- При измерениях требуется два человека, один крутит ручку и держит прибор, второй – держит провода прибора.
- Медленный процесс измерения.

На электромеханических мегаомметрах применяется аналоговая система измерений. Это значит, что результаты считываются по шкале со стрелочным указателем. Шкала в виде параболы, погрешность такой шкалы сравнительно велика (рисунок 2.18).



Рисунок 2.18 - Мегаомметр ЭСО 210/3-Г

Отличие современного прибора ЭСО 210/3Г от М4100 – возможность изменения величины выдаваемого напряжения. Эта функция сильно помогает, когда на одном объекте встречается электрооборудование, измерения на которых производятся при разных напряжениях. Например, кабели с напряжением 380 В (изоляция измеряется при 1000 В) и электродвигатели (500 В). В остальном приборы схожи, только переключение диапазонов измерений у М4100 производится на клеммах прибора, а у ЭСО 210/3Г – переключателем.

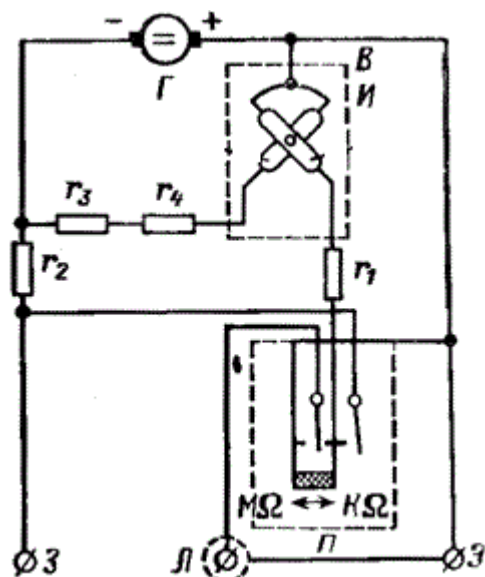


Рисунок 2.19 – Принципиальная схема мегаомметра, З – земля, Л – линия, Э – экран, Г – генератор, И – измеритель, П – переключатель.

2.3.4 Электронные мегаомметры

После электромеханических мегаомметров распространились электронные (рисунок 2.20). Выходное напряжение в место кручения ручки, как раньше, формировалось за счет электронной платы, измерения с помощью аналогового измерителя на полупроводниках. Количество пределов измерения увеличилось [16, 10].



Рисунок 2.20 - Мегаомметр Ф4102

Производить измерение коэффициента абсорбции стало проще, так как для получения этого коэффициента требуется производить измерение больше минуты и снимать показания на 15-й и 60-й секундах после начала измерения. В конце последнее показание делят на первое. Нормальное значение коэффициента изменяется в пределах от 1,3 до 2. Получается, что в случае с электромеханическим мегаомметром приходилось долгое время крутить ручку, держать неподвижно сам прибор, смотреть за временем и записывать показания – это крайне неудобно.

Главный минус полупроводниковых приборов заключался в том, что требовалось питание от сети или аккумулятора, а сами приборы были сильно громоздкими.

2.3.5 Микропроцессорные мегаомметры

После электронных приборов последовали мегаомметры с микропроцессорами (рисунок 2.21). Оператор прибора, кнопкой задает необходимое напряжение и все. Все необходимые результаты выводятся на дисплей. При измерении коэффициента абсорбции через 15 и 60 секунд мигает индикатор и издается звуковой сигнал. Прибор сам высчитывает конечную величину.



Рисунок 2.21 - Комбинированный прибор MIC 3

Микропроцессорные приборы гораздо компактнее своих предшественников. За счет этого появилась возможность совмещать в одном корпусе устройства различного назначения такие как:

- устройства для проверки сопротивления заземления;
- испытания УЗО;
- замер петли фаза-ноль.

Несомненно, это является весомым преимуществом при выборе оборудования для подобных работ. Такие компактные приборы часто используют сотрудники электролабораторий.

2.4 Принцип измерения сопротивления изоляции

Важным пунктом проверки электрооборудования на работоспособность является пункт проверки изоляции, включающий в себя проверку изоляции кабеля и электропроводки, путем измерения ее сопротивления. Сопротивлением изоляции называют отношение напряжения, которое приложено к диэлектрику, к току утечки, протекающему сквозь диэлектрик.

В целях профилактики, перед тем, как ввести электроустановку и электрооборудование в эксплуатацию, производится процедура замера сопротивления изоляции токопроводящих частей. Данная процедура позволяет определить снижение характеристик изоляционного материала, которые могут привести к нежелательным последствиям - различным аварийным ситуациям и необходимости дальнейшего дорогостоящего ремонта. Кроме того, факт, несоответствия значения изоляции токоведущих частей стандарту или в случае ее повреждения, является следствием поражения человека электрическим током.

Каждый элемент сети, номинальным напряжением до тысячи вольт, имеет свое минимальное допустимое сопротивление, таблица 2.2

Таблица 2.2 - Минимально допустимые значения сопротивления изоляции элементов электрических сетей напряжением до 1000 В

Наименование элемента	Напряжение мегаомметра, В	Сопротивление изоляции, МОм	Примечание
Электроизделия и аппараты на номинальное напряжение, В:		Должно соответствовать указаниям изготовителей, но не менее 0,5	При измерениях полупроводниковые приборы в изделиях должны быть зашунтированы
до 50	100		
свыше 50 до 100	250		
свыше 100 до 380	500-1000		
свыше 380	1000-2500		
Распределительные устройства, щиты и токопроводы	1000-2500	не менее 1	Измерения производятся на каждой секции распределительного устройства
Электропроводки, в том числе осветительные сети	1000	не менее 0,5	Измерения сопротивления изоляции в особо опасных помещениях и наружных установках производятся 1 раз в год. В остальных случаях измерения производятся 1 раз в 3 года. При измерениях в силовых цепях должны быть приняты меры для предотвращения повреждения устройств, в особенности микроэлектронных и полупроводниковых приборов. В осветительных сетях должны быть вывинчены лампы, штепсельные розетки и выключатели присоединены.
Вторичные цепи распределительных устройств, цепи питания приводов выключателей и разъединителей, цепи управления, защиты, автоматики, телемеханики и т.п.	1000-2500	не менее 1	Измерения производятся со всеми присоединенными аппаратами (катушки, контакторы, пускатели, выключатели, реле, приборы, вторичные обмотки трансформаторов напряжения и тока)
Краны и лифты	1000	не менее 0,5	Производится не реже 1 раза в год
Стационарные электроплиты	1000	не менее 1	Производится при нагретом состоянии плиты не реже 1 раза в год

Продолжение таблицы 2.2

Шинки постоянного тока и шинки напряжения на щитах управления	500-1000	не менее 10	Производится при отсоединенных цепях
Цепи управления, защиты, автоматики, телемеханики, возбуждения машин постоянного тока на напряжение 500-1000 В, присоединенных к главным цепям	500-1000	не менее 1	Сопротивление изоляции цепей напряжением до 60 В, питающихся от отдельного источника, измеряется мегаомметром на напряжение 500 В и должно быть не менее 0,5 МОм
Цепи, содержащие устройства с микроэлектронными элементами, рассчитанные на рабочее напряжение, В:			
до 60	100	не менее 0,5	
выше 60	500	не менее 0,5	

Сопротивление изоляции характеризует ее состояние в настоящий момент времени и не является постоянным, так как зависит от многих причин:

- температура в момент проведения измерения;
- влажность изоляции в момент проведения измерения.

Сопротивление изоляции постоянному току является одним из основных показателей состояния изоляции, и его измерение является основной частью испытаний всех видов электрооборудования и электрических цепей. Постоянный ток используется потому, что изоляция кабелей и обмоток содержит емкостную составляющую, а именно небольшое емкостное сопротивление. Конденсатор, как известно, проводит переменный ток и поэтому измерения будут не точны, так как емкостной ток снизит истинные значения сопротивления.

Большое значение напряжения необходимо для того, чтобы изоляционный материал стал проводником тока. Есть и еще один момент, при измерении повышенным напряжением изоляция подвергается испытанию, которое показывает, выдержит ли она номинальное напряжение или нет. Все производители кабельной продукции, изготавливают изоляцию своих кабелей

так, чтобы она выдерживала напряжение с запасом. Поэтому кабель, используемый в сетях на 0,4 кВ, свободно выдерживает 1 кВ постоянного тока.

Чаще всего производят замер сопротивления изоляции каждой жилы кабеля относительно земли и между жилами.

Сопротивление изоляции определяется показанием прибора через 15 сек. и 60 сек. после начала испытания. В случае если определение коэффициента абсорбции кабеля не требуется, отсчет показаний производится не ранее чем через 60 сек. от начала испытания.

Если производится замер сопротивления изоляции сетей освещения, то выполняются следующие пункты:

а) Измеряется значение сопротивления изоляции магистральных линий на участке сборка – автоматический выключатель;

б) Измеряется значение сопротивления изоляции на участке – распределительный щит – групповой щит;

в) Измеряется значение сопротивления изоляции сети освещения на участке - автоматический выключатель - групповой щит управления.

г) Значение величины сопротивления должно быть равным не менее 0,5 МОм.

Самостоятельно можно обнаружить некоторые повреждения изоляции. Например, срочный замер сопротивления изоляции электропроводки может быть произведен без электролаборатории штатным электриком предприятия. При обнаружении неисправности не придется ждать заключения, чтобы немедленно начать ремонт и не допустить серьезной аварии или сбоев в работе. Но если кроме замера сопротивления изоляции электропроводки необходимы еще все сопутствующие документы, тогда все-таки вызывать электролабораторию и производить измерения изоляции с ее помощью, поскольку только ее отчеты и испытания с измерениями являются для контролирующих органов официальными документами.

Помимо электрических испытаний, и электрики, специалисты электролаборатории могут производить визуальный осмотр для поиска обрыва

и определение повреждение кабеля или повреждений, но результаты осмотра также пригодны только в случае необходимости срочно починить кабель или провода. Любые документы об осмотре электропроводки не имеют силы без проведения замера сопротивления изоляции электропроводки, которые может выполнить только электролаборатория.

Прежде чем начинать замер сопротивления изоляции, необходимо произвести зрительный осмотр места проверки на наличие возможных дефектов или иных факторов способствующих некачественной проверки изоляции. Особое внимание, при осмотре, отводится аппаратам защиты и автоматики. Не должно быть выявлено нарушение изоляции, особенно оплавленные концы, так как это означает, что происходит дополнительный нагрев, то только ухудшает качество изоляции.

В момент измерения сопротивления изоляции, проверяемое оборудование должно быть обесточено.

2.5 Измерение сопротивления изоляции электродвигателя

Для того, что бы узнать состояние изоляции изолированных элементов электрической машины, производят замер сопротивления данной изоляции относительно корпуса машины и между обмотками. Производимый замер изоляции позволит дать оценку дальнейшей работоспособности машины.

Измерения необходимо производить, соблюдая следующие требования:

- испытываемая установка, должна находиться в остывшем состоянии;
- температура обмоток не учитывается.
- использовать мегаомметр, рассчитанный на напряжение 500 В - при номинальном напряжении обмотки до 500 В включительно;
- использовать мегаомметр, рассчитанный на напряжение ≥ 1000 В - при номинальном напряжении обмотки свыше 500 В.

В случае, когда производится замер сопротивления изоляции касательно корпуса электрической машины и между обмотками, опыт измерения производится поочередно для каждой цепи с самостоятельными выводами.

В случае, когда проводится опыт измерения сопротивления изоляции обмоток, рассчитанных на трехфазный ток и соединённых в звезду или треугольник, то замер производится для всей обмотки по отношению к корпусу.

Рекомендуется, на время опыта, отсоединять от корпуса все элементы, на которых производится замер сопротивления изоляции, а также защитные конденсаторы.

В случае, когда происходит замер сопротивления изоляции обмоток с водяным охлаждением, необходимо использовать мегаомметр с внутренним экраном. При проведении замера сопротивления изоляции, зажим, соединенный с экраном, необходимо прикреплять к водосборным коллекторам, не имеющих при этом металлического соединения с внешней системой питания.

После окончания замера сопротивления изоляции, каждую цепь, в которой производилось измерение, следует разрядить путем соединения с заземленным корпусом машины.

Для обмоток на номинальное напряжение 3000 В и выше продолжительность соединения с корпусом должна быть:

- для машин мощностью до 1000 кВт — не менее 15 с;
- для машин мощностью более 1000 кВт — не менее 1 мин.

Если прибор мегаомметр рассчитан на напряжение 2,5 кВ, то время соединения с корпусом должно быть не менее трех минут, не зависимо от мощности машины.

Измерение сопротивления изоляции с заложенными термопреобразователями сопротивления, производится мегаомметром, рассчитанным на напряжение 500 В.

Если производится замер изолированных подшипников и уплотнений вала двигателя относительно корпуса, то температура должна равняться окружающей, а прибор должен быть рассчитан на напряжение не менее 1000 В.

Таблица 2.3 – Допустимые значения сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции

Испытуемый элемент	Напряжение мегаомметра, В	Допустимое значение сопротивления изоляции, МОм	Примечание
Обмотка статора	500, 1000, 2500	≥ 10 МОм на 1 кВ номинального линейного напряжения.	Для каждой фазы или ветви в отдельности относительно корпуса и других заземленных фаз или ветвей. Значение <i>R60/R15</i> не ниже 1,3
	2500	По инструкции завода-изготовителя.	При протекании дистиллята через обмотку
Обмотка ротора	500, 1000	$\geq 0,5$ (при водяном охлаждении - с осушенной обмоткой)	Допускается ввод в эксплуатацию генераторов мощностью не выше 300 МВт с неявнополюсными роторами, при косвенном или непосредственном воздушном и водородном охлаждении обмотки, имеющей сопротивление изоляции не ниже 2 кОм при температуре 75 °С или 20 кОм при температуре 20 °С. При большей мощности ввод генератора в эксплуатацию с сопротивлением изоляции обмотки ротора ниже 0,5 МОм (при 10-30 °С) допускается только по согласованию с заводом-изготовителем.
	1000	По инструкции завода-изготовителя.	При протекании дистиллята через охлаждающие каналы обмотки.

Цепи возбуждения генератора и коллекторного возбудителя со всей присоединенной аппаратурой (без обмотки ротора и возбудителя)	500-1000	$\geq 1,0$	
Обмотки коллекторных возбудителя и подвозбудителя	1000	$\geq 0,5$	
Бандажи якоря и коллектора коллекторных возбудителя и подвозбудителя	1000	$\geq 0,5$	При заземленной обмотке якоря
Изолированные стяжные болты стали статора (доступные для измерения)	1000	$\geq 0,5$	
Подшипники и уплотнения вала	1000	$\geq 0,3$ для гидрогенераторов и $1,0$ для турбогенераторов и компенсаторов.	Для гидрогенераторов измерение производится, если позволяет конструкция генератора и в заводской инструкции не указаны более жесткие нормы.
Диффузоры, щиты вентиляторов и другие узлы статора генераторов	500, 1000	В соответствии с заводскими требованиями	
Термодатчики с соединительными проводами, включая соединительные провода, уложенные внутри генератора			

Продолжение таблицы 2.3

- с косвенным охлаждением обмоток статора	250 или 500	$\geq 1,0$	Напряжение мегаомметра - по заводской инструкции
- с непосредственным охлаждением обмоток статора	500	$\geq 0,5$	
Концевой вывод обмотки статора турбогенераторов серии ТГВ	2500	1000	Измерение производится до соединения вывода с обмоткой статора

Таблица 2.4 - Допустимые значения сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции для обмоток статора электродвигателей

Мощность, номинальное напряжение электродвигателя, вид изоляции обмоток	Критерии оценки состояния изоляции обмотки статора	
	Значение сопротивления изоляции, МОм	Значение коэффициента абсорбции R_{60}/R_{15}
Мощность более 5 МВт, термореактивная и микалентная компаундированная изоляция	При температуре 10-30 °С сопротивление изоляции не ниже 10 Мом на 1 кВ номинального линейного напряжения	$\geq 1,3$ при температуре 10-30 °С
Мощность 5 МВт и ниже, напряжение выше 1 кВ, термореактивная изоляция		
Двигатели с микалентной компаундированной изоляцией, напряжение выше 1 кВ, мощностью от 1 до 5 МВт включительно, а также двигатели меньшей мощности наружной установки с такой же изоляцией напряжением выше 1 кВ	Не ниже значений, указанных в табл.1.8.10.	$\geq 1,2$
Двигатели с микалентной компаундированной изоляцией, напряжение выше 1 кВ, мощностью более 1 МВт, кроме указанных в п.3	Не ниже значений, указанных в табл.1.8.10.	-
Напряжение ниже 1 кВ, все виды изоляции	Не ниже 1,0 Мом при температуре 10-30 °С	-

Таблица 2.5 - Наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции обмоток машин постоянного тока

Температура обмотки, °С	Сопротивление изоляции R60", Мом, при номинальном напряжении машин, В				
	230	460	650	750	900
10	2,7	5,3	8,0	9,3	10,8
20	1,85	3,7	5,45	6,3	7,5
30	1,3	2,6	3,8	4,4	5,2
40	0,85	1,75	2,5	2,9	3,5
50	0,6	1,2	1,75	2,0	2,35
60	0,4	0,8	1,15	1,35	1,6
70	0,3	0,5	0,8	0,9	1,0
75	0,22	0,45	0,65	0,75	0,9

Основной показатель состояния изоляции ротора и статора является сопротивление изоляции $R_{из}$.

Вместе с замером сопротивления изоляции обмотки статора определяется коэффициент абсорбции. Замер сопротивления изоляции ротора производится у синхронных электромашин и электромашин с фазным ротором рассчитанных на напряжение три киловольт или мощностью номиналом выше одного мегаватта.

Значение сопротивления изоляции ротора должно быть не ниже 0,2МОм.

При эксплуатации электродвигателей, чаще всего, коэффициент абсорбции рассчитывается для двигателей напряжением выше трех киловольт или мощностью более одного мегаватта.

Перед проверкой изоляции мегаомметром, необходимо проверить и подготовить прибор:

- 1) Требуется произвести проверку аккумулятора или заряд батареи.
- 2) Установить значение испытательного напряжения.
- 3) Установить прибор в рабочее положение (горизонтальное или вертикальное).

4) Для приборов, используемых регулировку предела измерений, установить требуемый предел, а также шкалу прибора и необходимое значение испытательного напряжения мегомметра.

5) Произвести проверку работоспособности прибора мегомметра. Для проверки необходимо закоротить друг с другом измерительные щупы и начать крутить ручку генератора со скоростью сто двадцать сто сорок оборотов в минуту, стрелка прибора покажет значение – 0. Размыкаем щупы, крутим ручку генератора с той же скоростью, стрелка прибора покажет значение – 10^4 Мом.

6) Прежде чем проводить измерения сопротивления изоляции необходимо удалить пыль и загрязнения в водном устройстве электродвигателя.

7) Подключить мегаомметр согласно схемы (рисунок 2.25).

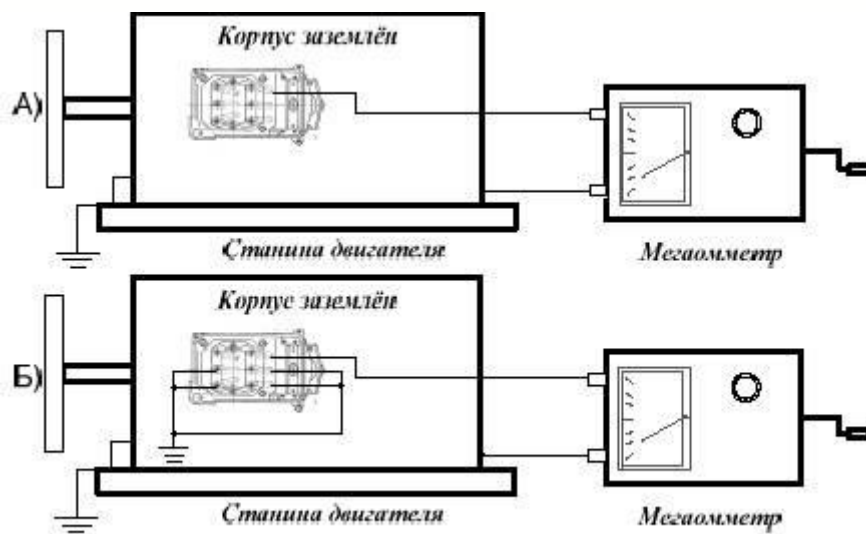


Рисунок 2.25 - Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателя

Рисунок А показывает схему подключения мегаомметра к испытуемому электродвигателю, у которого соединение обмоток произведено внутри и, следовательно, рассоединить их невозможно. В этом случае подключение мегаомметра осуществляется к любому зажиму статора испытуемого

электродвигателя и сопротивление изоляции измеряется у всей обмотки сразу относительно корпуса. [3]

На рисунке Б - замер сопротивления изоляции осуществляется у электродвигателя по каждой из частей обмотки отдельно, другие части обмотки закорачиваются.

В момент замера значения сопротивления изоляции, показания фиксируют раз в пятнадцать секунд. Результатом считается сопротивление, зафиксированное через шестьдесят секунд после начала измерения, а отношение показаний R_{60}/R_{15} является коэффициентом абсорбции.

В случае, если, номинальное напряжение двигателя равняется 0,4 кВ, тогда одноминутное измерение изоляции прибором на 2,5 кВ будет приравняться к высоковольтному испытанию.

Для синхронных двигателей рекомендуется, при замере сопротивления изоляции обмоток статора, заземлять обмотку ротора.

Прочие приборы и методы испытаний электродвигателя представлены в [35]: «...An important feature of testing installed equipment is that the bushing flange is grounded to the machine frame; therefore, the measuring instrument should be capable of working with equipment that cannot be isolated from ground.»

2.6 Выводы по главе 2

1. Проведен анализ электрических сетей до 1000 вольт, в котором рассмотрены используемые типы заземления, средства защиты, а также рассмотрены основные положения электрической сети до 1 кВ. Получение практических навыков в сетях до 1000 вольт обусловлено безопасностью, а также малыми отличиями, с научной точки зрения, от сетей выше тысячи вольт

2. Проведено сравнение измерительного оборудования, используемого в сетях до 1000 вольт. В рамках магистерской диссертации было подробно рассмотрено оборудование для измерения сопротивления изоляции, а именно, мегаомметры различных видов. Согласно проведенному анализу мегаомметров, можно сделать вывод, что электромеханический прибор будет оптимальным решением для использования его в лабораторных работах. Наиболее часто используемым электромеханическим прибором является Мегаомметр ЭС 0210-3/Г.

3 Разработка лабораторного практикума «Электрические испытания в сетях напряжением до 1 кВ на базе прибора «Мегаомметр ЭСО-210/3-Г»

Как отмечалось ранее, лабораторный практикум является неотъемлемой частью учебного процесса студентов, обучающихся на технических специальностях. Лабораторный практикум позволяет закрепить теоретический материал, полученный на лекциях изучаемой дисциплины, практическими навыками. Помимо получения практического навыка, будущий специалист получает навык в постановке, проведении и анализе данных эксперимента.

В рамках ВКР, производится разработка лабораторного практикума, который позволит ознакомиться на практике с измерением изоляции токоведущих частей в сетях до тысячи вольт при помощи прибора «Мегаомметр ЭСО-210/3-Г».

3.1 Лабораторная работа № 1 «Измерения в сети номинальным напряжением до 1000 В. Знакомство с прибором «Мегаомметр ЭСО-210/3-Г»»

Целью лабораторной работы является изучение возможных измерений в сетях номинальным напряжением до тысячи вольт и ознакомление студентов с прибором «Мегаомметр ЭСО-210/3-Г», а именно устройством его работы. Кроме изучения работы прибора студенты получают теоретические знания в области применения прибора.

Данная лабораторная работа является ознакомительной, а значит, является теоретической. Для того чтобы студент получил минимальный объем знаний по предложенному прибору, понадобятся некоторые теоретические сведения.

При различных ремонтных или наладочно - монтажных работах в сетях необходимо производить измерения необходимых величин, будь то величина

тока, разности потенциалов или сопротивления. Для измерения каждой из величин существует отдельный прибор, а именно:

- амперметр, для измерения тока, включается в сеть последовательно с приемником электрической энергии. Амперметры делятся, по типу, на стрелочные и цифровые, а по принципу действия подразделяются на электромагнитные, магнитоэлектрические, термоэлектрические, ферродинамические, электродинамические;

- вольтметр, для измерения напряжения, включается в сеть параллельно с приемником электрической энергии. Прибор вольтметр может быть, как переносным, так и стационарным;

- мегаомметр для измерения большой величины сопротивления изоляции, подключается согласно схеме (рисунок 3.1). Мегаомметры по типу различают на микропроцессорные, электромеханические и электронные.



Рисунок 3.1 – схема подключения щупов мегаомметра.

Перечисленные выше приборы дают возможность предупредить аварии, несущие серьезные последствия. Подробнее остановимся на приборе мегаомметре.

Основная задача прибора заключается в том, чтобы навести напряжение на измеряемых концах кабеля или обмотки электрической машины и измерить ток, который проходит по заданной цепи. Данная задача помогает определить сопротивление изоляции.

Для создания напряжения применяются электромеханические машины на постоянном токе. С помощью рукоятки, размещавшейся на корпусе прибора,

приводят в движение ротор прибора. При вращении генератор должен выдать номинальное напряжение, для этого ручку крутят с частотой сто двадцать оборотов в минуту.

На электромеханических мегаомметрах (рисунок 3.2) применяется аналоговая система измерений. Это значит, что результаты считываются по шкале со стрелочным указателем.



Рисунок 3.2 - Мегаомметр ЭСО 210/3-Г

Современный прибор ЭСО 210/3Г дает возможность изменения величины выдаваемого напряжения путем переключения диапазона переключателем на корпусе прибора. Эта функция сильно помогает, когда на одном объекте встречается электрооборудование, измерения на котором производятся при разных напряжениях. Например, кабели с напряжением 380 В (изоляция измеряется при 1000 В) и электродвигатели (изоляция измеряется при 500 В).

Таблица 3.1 – Технические характеристики прибора ЭСО 210/3-Г

Обозначение	Питание	Диапазон измерений:		Испытательное напряжение, В
		сопротивления, МОм	напряжения, В	
ЭС0210/3Г	от встроенного генератора	0 - 50	0 - 600	500 ±50
		50 - 10000		1000 ±100
		500 - 100000		2500 ±250

Класс точности мегаомметра 2,5.

Пределы допускаемых значений основных погрешностей:

- $\pm 2,5\%$ от длины шкалы при измерении сопротивлений;
- $\pm 2,5\%$ от верхнего значения диапазона измерений напряжений;
- $\pm 15\%$ от измеряемого сопротивления (относительная погрешность).

Оперативный ток при закороченных зажимах находится в пределах 0,6 ±0,2 мА.

Время установления показаний не более 15 сек. Время заряда емкости объекта, величиной не более 0,5 мФ, не превышает 15 сек. Время разряда емкости аналогичного объекта до безопасного напряжения (не более 42 В), который был заряжен до напряжения 2500 В, не превышает 4 сек.

Режим работы прерывистый: измерение - 1 минута, пауза - 2 минуты.

Норма средней наработки на отказ - 12500 часов, средний срок службы 10 лет.

Исполнение прибора – брызго-влагозащищенное.

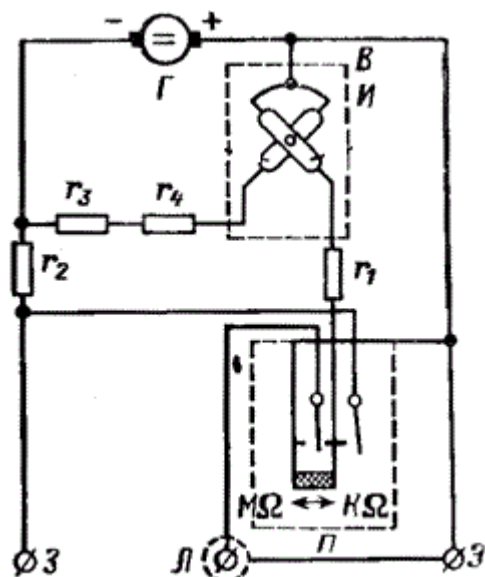


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема мегаомметра, З – земля, Л – линия, Э – экран, Г – генератор, И – измеритель, П – переключатель.

Ход лабораторной работы заключается в том, что студенты на основании предложенной темы лабораторной работы пишут реферат. Затем каждый студент по отдельности или бригадой, по усмотрению преподавателя, защищают написанный реферат. Защита происходит по контрольным вопросам, которые доступны студентам для подготовки.

Контрольные вопросы:

1. Что такое мегаомметр и какая его основная задача?
2. Как производить измерения мегаомметром?
3. Типы мегаомметров, их достоинства и недостатки.
4. Виды измерений в сетях до 1000 вольт?
5. Приборы для возможных измерений в сетях до 1000 вольт и способы их подключения?

Рекомендуемая литература:

1. Сибикин, Ю.Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий: Учебное пособие для начального профессионального образования / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - М.: ИЦ Академия, 2012.

2. Джонс, М.Х. Электроника - практический курс / М.Х. Джонс. - М.: Техносфера, 2013.

3. Карпиловский, Л.Н. Контроль и измерение сопротивления изоляции и ёмкости судовых электрических сетей/ Л.Н. Карпиловский, В.С. Лебедев и др. Л.: 1979

4. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г.К. Жерве. - М.: Государственное энергетическое издательство, 2016.

5. Морозова, Н.Ю. Электротехника и электроника: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования / Н.Ю. Морозова. - М.: ИЦ Академия, 2013.

3.2 Лабораторная работа № 2 «Измерение сопротивления изоляции силового кабеля с медными жилами с ПВХ изоляцией рассчитанного на напряжение 660 В.»

Цель лабораторной работы заключается в необходимости измерения сопротивления изоляции каждой жилы силового кабеля ВВГ, рассчитанного на напряжение 660 вольт. Сравнить получившиеся значения измерений со стандартными значениями сопротивления данной изоляции и сделать выводы.

Лабораторная работа №2 является практической. Выполнение данной лабораторной работы необходимо производить бригадой минимум два человека под присмотром инженера, ответственного за лабораторию, имеющего третью группу допуска по электробезопасности до тысячи вольт. Теория, изученная в лабораторной работе №1, будет способствовать успешному выполнению работы.

Необходимое оборудование:

- 1) Кабель ВВГ;
- 2) Прибор «Мегаомметр ЭСО – ЭСО - 210/3 - Г».

Перед выполнением работы, следует ознакомиться с некоторыми теоретическими сведениями.

Силовой кабель ВВГ, рисунок. Применяется данный кабель для:

- передачи и распределения электроэнергии в стационарных установках на номинальное переменное напряжение 660 В и 1000 В частоты 50 Гц;
- прокладки в сухих и влажных производственных помещениях, на специальных кабельных эстакадах, в блоках, а также для прокладки на открытом воздухе. Кабели не рекомендуются для прокладки в земле (траншеях).

Кабели марки ВВГ (рисунок 3.4) не распространяют горение при одиночной прокладке.

Класс пожарной опасности согласно ГОСТ Р 53315-2009 - П1б.8.2.5.4



Рисунок 3.4 - ВВГ – Силовые кабели с медными жилами, с ПВХ изоляцией в ПВХ оболочке.

Изоляция это:

- 1) способ предотвращения образования электрического контакта между частями электрического изделия,
- 2) материалы и изделия из них, применяемые для реализации данного способа.

Материалы, использующиеся для изготовления изоляции, при воздействии напряжения, которое к ним прикладывают, имеют возможность проводить электрический ток. Однако, проводимость таких материалов гораздо ниже, чем у проводников. Тем не менее, проводимость изоляционных материалов играет большую роль и является одной из основных характеристик надежной работы изделия.

Через изоляцию, при воздействии на нее напряжения, протекает ток, который называется ток утечки.

Для изучения изоляции проводников существует некоторая модель (рисунок 3.5). Представленная модель содержит в себе 4 параллельно соединенные электрические цепи.

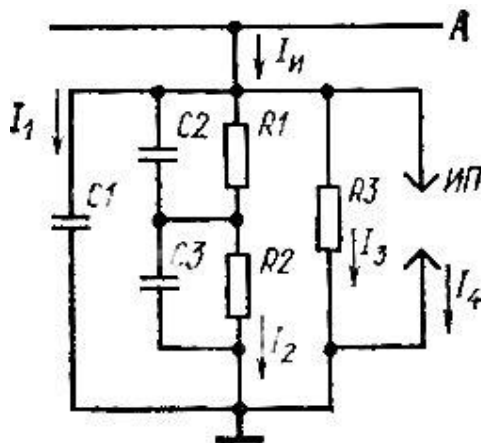


Рисунок 3.5 – Схема замещения электрической изоляции

Первая цепь состоит из одного конденсатора $C1$ – геометрическая емкость. Наличие этой емкости обуславливает появление мгновенного броска тока, возникающего при приложении к изоляции постоянного напряжения, затухающего практически за несколько секунд, и емкостного тока, проходящего через изоляцию при приложении к ней переменного напряжения.

Вторая цепь характеризует внутреннее строение и свойства изоляции, в том числе ее структуру, количество групп из параллельно соединенных конденсаторов и резисторов.

Если токоведущие части электротехнического изделия изолированы двумя слоями изоляции и более (например, изоляция провода и изоляция катушки), то в схеме замещения абсорбционная ветвь представляется в виде двух и более последовательно соединенных групп из конденсатора и резистора, характеризующих свойства одного из слоев изоляции. В данной схеме рассматривается двухслойная изоляция, один слой которой замещен группой элементов из конденсатора $C2$ и резистора $R1$, а второй — $C3$ и $R2$.

Третья цепь - резистор R_3 . характеризует потери в изоляции при приложении к ней постоянного напряжения.

При одних дефектах изоляции зависимость сопротивления R_3 от напряжения становится нелинейной, а при других - оно практически не изменяется с ростом напряжения. Ток I_3 - принято называть сквозным током.

Четвертая цепь представлена на схеме замещения искровым промежутком ИП, характеризующим электрическую прочность изоляции.

Данная схема замещения изоляции позволяет не только описывать процессы, происходящие в ней при приложении напряжения, но и устанавливать параметры, контролируя которые можно судить о ее состоянии.

В [38], рассматривается один из методов испытания высоковольтного кабеля: «A continuous increased voltage application, e.g. a VLF voltage, could cause in case of a long excitation time during PD diagnosis, unwanted breakdowns at defects even if the applied voltage is not that high like it is used for withstand testing.»

При выполнении лабораторной работы студенты, должны руководствоваться программой работы:

1. Получить допуск к работе у преподавателя;
2. Перед выполнением работы убедиться, что установка обесточена;
3. Собрать схему для работы с прибором «Мегаомметр ЭС - 0210/3 - Г» согласно (рисунку 3.6);



Рисунок 3.6 – Схема подключения щупов мегаомметра

4. Проверить работоспособность прибора путем визуального осмотра и закорачивания щупов, а также удостовериться в наличии отметки гос. поверки;
5. Измерить сопротивление изоляции соединительных проводов, значение которого должно быть не меньше верхнего предела измерения мегаомметра;
6. Установить предел измерения; если значение сопротивления изоляции неизвестно, то во избежание «зашкаливания» указателя измерителя необходимо начинать с наибольшего предела измерения; при выборе предела измерения следует руководствоваться тем, что точность будет наибольшей при отсчете показаний в рабочей части шкалы;
7. Убедиться в отсутствии напряжения на проверяемом объекте;
8. Отключить или закоротить все детали с пониженной изоляцией или пониженным испытательным напряжением, конденсаторы и полупроводниковые приборы;
9. На время подключения прибора заземлить испытуемую цепь;
10. Нажав кнопку и вращая ручку генератора индукторного мегаомметра со скоростью примерно 120 об/мин, через 60 с после начала измерения зафиксировать значение сопротивления по шкале прибора;
11. Показания прибора записать в таблицу – 3.2, таблицу – 3.3 и таблицу – 3.4;

Таблица 3.2 - Результаты измерений сопротивлений каждой жилы кабеля

Фаза А	Фаза В	Фаза С	N

Таблица 3.3 - Результаты измерений сопротивлений между фазными жилами

A-B	A-C	B-C

Таблица 3.4 - Результаты измерений сопротивлений между фазной жилой и нулевым проводником

A-N	B-N	C-N

12. Разобрать схему прибора.

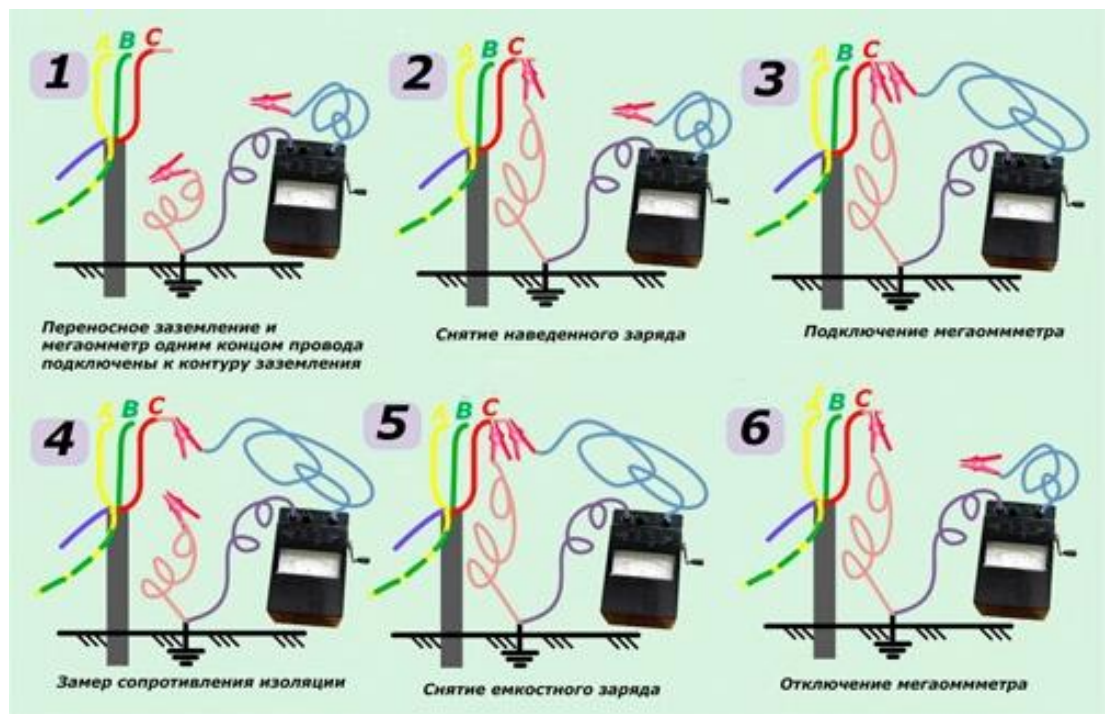


Рисунок 3.7 – последовательность операций с мегаомметром и заземлением.

Рекомендации к измерениям:

- в случае если измеряемый элемент обладает большой емкостью, то снятие показаний производить после того, как стрелка «успокоится»;
- после завершения замера сопротивления изоляции, элементов с большой емкостью – произвести заземление для того, чтобы разрядить накопленный заряд;

- в случае, когда вероятно неверное значение измерения из-за токов утечки, возможно установить токоотводящий электрод, который присоединяется к «Э»;

- в том случае, когда замер сопротивления изоляции осуществляется на кабеле, который изолирован от земли, то зажим Э присоединяется к броне кабеля; между обмотками электрических машин - к корпусу; при измерении сопротивления изоляции обмоток трансформатора - под юбкой выходного изолятора;

- замер сопротивления изоляции силовых и осветительных установок осуществляется при положении выключателя – «включено», снимаются плавкие вставки, выворачиваются лампы;

- запрещается производить замер сопротивления изоляции линии находящейся вблизи другой линии, находящейся под напряжением.

Защита лабораторной работы № 2 производится по контрольным вопросам.

Контрольные вопросы:

1. Расшифровать аббревиатуру испытуемого кабеля ВВГ, назвать где чаще всего применяется, к какому классу пожарной опасности относится.
2. Начертить схему замещения электрической изоляции.
3. Рассказать о возможных дефектах изоляции.
4. Назвать причины и следствия названных ранее дефектов изоляции.
5. Рассказать последовательность измерения изоляции с помощью прибора «Мегаомметр ЭС 0210/3 – Г».

Рекомендуемая литература:

1. Шишмарев, В.Ю. Электротехнические измерения: Учебник для студентов учреждений среднего проф. образования / В.Ю. Шишмарев. - М.: ИЦ Академия, 2013.

2. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Б.И. Кудрин. - М.: ИЦ Академия, 2012.

3. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин. - М.: Радио и связь, 2012.

4. Алиев, И.И. Электротехнический справочник / И.И. Алиев. - М.: ИП РадиоСофт, 2013.

5. Фуфаева, Л.И. Сборник практических задач по электротехнике: Учебное пособие для студ. сред. проф. образования / Л.И. Фуфаева. - М.: ИЦ Академия, 2012.

3.3 Лабораторная работа № 3 «Определение коэффициента абсорбции на примере кабеля ВВГнг»

Целью лабораторной работы является определение коэффициента абсорбции предложенного кабеля. Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) Произвести замер сопротивления изоляции, при этом фиксируя показания прибора на пятнадцатой секунде измерения и спустя минуту;
- 2) Используя полученные данные произвести расчет требуемого коэффициента.

Лабораторная работа № 3 является практической. Выполнение данной лабораторной работы необходимо производить бригадой минимум два человека под присмотром инженера, закрепленной за лабораторией, имеющего третью группу допуска по электробезопасности до тысячи вольт.

Необходимое оборудование:

- 1) Кабель ВВГнг;
- 2) Прибор «Мегаомметр ЭСО - 210/3 - Г».

Для подготовки студентов к выполнению лабораторной работы № 3 следует изучить краткие теоретические сведения.

Используемая в лабораторной работе марка кабеля ВВГнг предназначена для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках на номинальное переменное напряжение 0,66 кВ и 1,0 кВ с частотой

пятьдесят герц или на постоянное напряжение в два - четыре раза больше переменного напряжения.

Кабели изготавливаются для эксплуатации в районах с умеренным, холодным и тропическим климатом. ВВГнг предназначены для эксплуатации на суше, реках и озерах на высотах до 4300 м. над уровнем моря.

Кабели применяются для прокладки:

- в воздухе при отсутствии опасности механических повреждений в ходе эксплуатации;
- в сухих или сырых помещениях (туннелях), каналах, кабельных полуэтажах, шахтах, коллекторах, производственных помещениях, частично затопляемых сооружениях при наличии среды со слабой, средней и высокой коррозионной активностью;
- для прокладки на специальных кабельных эстакадах, по мостам и в блоках;
- для прокладки в пожароопасных помещениях;
- для прокладки во взрывоопасных зонах класса В-Іб, В-Іг, В-ІІ, В-ІІа;
- групповых осветительных сетей во взрывоопасных зонах класса В-Іа.

Кабели (рисунок 3.8) предназначены для вертикальных, наклонных и горизонтальных трасс. Небронированные кабели могут использоваться в местах подверженных вибрации. Кабели не распространяют горение при прокладке в пучках (нормы МЭК 60332-2 категории А и В). В том случае, если в маркировке кабеля присутствует индекс Т, кабель рассчитан на прокладку в тропическом климате и устойчивы к грибку и плесени. Могут использоваться на атомных электростанциях. Допустимый нагрев токопроводящих жил в аварийном режиме не должен превышать восьмидесяти градусов Цельсия со знаком плюс и продолжительность работы в аварийном режиме не должна быть более восьми часов в сутки, но не более тысячи часов за срок службы.

Срок службы кабелей - 30 лет. Стандарт: ТУ 16.К01-37-2003.

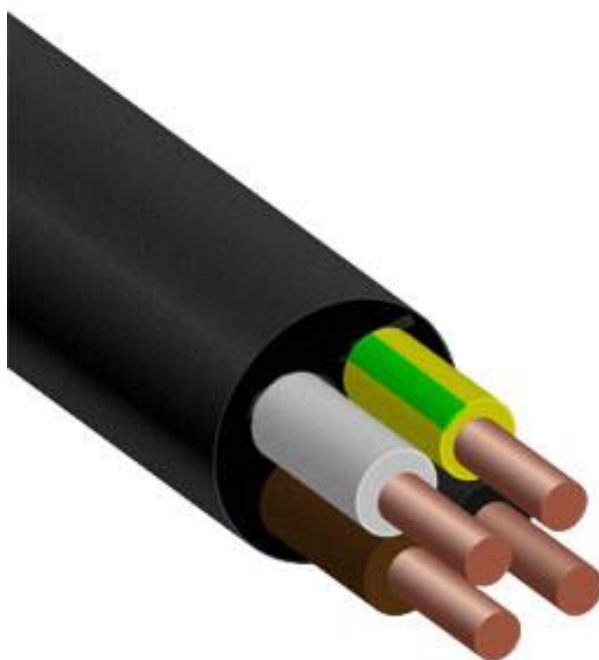


Рисунок 3.8 – Кабель ВВГнг

Коэффициентом абсорбции называется коэффициент диэлектрического поглощения, определяющий увлажнённость изоляции, и позволяющий решить вопрос о том, нуждается ли гигроскопическая изоляция того или иного оборудования в сушке. Испытание заключается в измерении посредством мегомметра сопротивления изоляции через 15 секунд и через 60 секунд с момента начала проверки.

Сопротивление изоляции через 60 секунд — R_{60} , сопротивление через 15 секунд — R_{15} . Первое значение делится на второе, и получается значение коэффициента абсорбции.

Суть измерения в том, что электрическая изоляция характеризуется емкостью, и напряжение мегомметра, приложенное к изоляции, заряжает постепенно эту емкость, насыщая изоляцию, то есть возникает ток абсорбции между щупами мегомметра. Для проникновения тока в изоляцию требуется время, и это время тем больше, чем больше размер изоляции и чем выше ее качество. Чем выше качество, тем сильнее препятствует изоляция прохождению тока абсорбции при проведении измерений. Так, чем более увлажнена изоляция, тем коэффициент абсорбции меньше.

У сухой изоляции коэффициент абсорбции будет сильно больше единицы, поскольку ток абсорбции сначала резко устанавливается, затем постепенно снижается, и сопротивление изоляции через 60 секунд, которое покажет мегомметр, окажется больше примерно на 30%, чем оно было через 15 секунд с момента начала замера. Влажная же изоляция покажет коэффициент абсорбции близкий к 1, поскольку ток абсорбции, установившись, не сильно изменит свое значение спустя еще 45 секунд.

Новое оборудование не должно отличаться коэффициентом абсорбции от заводских данных более чем на 20% в сторону уменьшения, и его значение в диапазоне температур от +10°C до +35°C не должно быть меньше 1,3. Если условие не выполняется, оборудование необходимо сушить [26].

При необходимости измерить коэффициент абсорбции у силового трансформатора или мощного двигателя, применяют мегомметр на напряжение 250, 500, 1000 или 2500 В. Вспомогательные цепи измеряют мегомметром на напряжение 250 вольт. Оборудование с рабочим напряжением до 500 вольт — мегомметром на 500 вольт. Для оборудования с номинальным напряжением от 500 вольт до 1000 вольт применяют мегомметр на 1000 вольт. Если номинальное рабочее напряжение оборудования выше 1000 вольт, применяют мегомметр на 2500 вольт.

С момента подачи высокого напряжения от щупов измерительного прибора производят отсчет времени 15 и 60 секунд и фиксируют значения сопротивления R_{15} и R_{60} . Во время подключения измерительного прибора оборудование, которое подвергается проверке, должно быть обязательно заземлено, а напряжение с его обмоток должно быть снято [18].

По окончании измерений следует подготовленным проводником разделить заряд с обмотки на корпус. Время разряда для обмоток с рабочим напряжением 3000 В и выше должно быть не менее 15 секунд для машин до 1000 кВт и не менее 60 секунд для машин мощностью больше 1000 кВт.

Для измерения коэффициента абсорбции обмоток машин между собой и между обмотками и корпусом, проводят поочередно измерения сопротивлений

R15 и R60 для каждой из независимых цепей, а остальные цепи при этом соединяют между собой и с корпусом машины. Предварительно измеряют температуру цепи, подвергаемой проверке, она должна желательно соответствовать температуре при номинальном режиме работы машины, и не должна быть ниже 10°C, в противном случае обмотку следует прогреть прежде чем проводить замеры.

Значение наименьшего сопротивления изоляции R60 при рабочей температуре оборудования вычисляют по формуле:

$$R60 = U_n / (1000 + P_n / 100),$$

где U_n – номинальное напряжение обмотки в вольтах; P_n – номинальная мощность в киловаттах для машин постоянного тока или в киловольт-амперах для машин переменного тока. $K_a = R60 / R15$. Вообще, существуют таблицы, в которых указаны допустимые значения коэффициентов абсорбции для различного оборудования.

Таблица 3.5 – Допустимые значения коэффициента абсорбции

Качество изоляции	Значение коэффициента
Опасное	< 1,25
Не соответствующее	
Хорошее	1,25....1,6
Отличное	> 1,6

На практике измерение коэффициента абсорбции в изоляции напрямую указывает её увлажнение. Это справедливо для всех электротехнических изделий, будь то кабели, обмотки генераторов или трансформаторов. Например, после измерения коэффициента абсорбции генератора или трансформатора принимают решение о возможности проведения испытаний повышенным напряжением промышленной частоты. Если коэффициент абсорбции меньше единицы, т.е. изоляция влажная, то производить испытания

электрооборудования нельзя, так как это может привести к пробое изоляции. Значения коэффициента абсорбции нормируется паспортными данными на электрооборудование, а также нормативным документом «Объём и нормы испытаний электрооборудования». Например, при вводе в эксплуатацию новых генераторов, коэффициент абсорбции должен быть не меньше 1,3. При последующих измерениях данные должны быть не меньше указанных в паспорте.

При выполнении лабораторной работы студенты, должны руководствоваться программой работы:

1. Получить допуск к работе у преподавателя;
2. Перед выполнением работы убедиться, что установка обесточена;
3. Собрать схему для работы с прибором «Мегаомметр ЭС - 0210/3 - Г» (рисунку 3.9);



Рисунок 3.9 – Схема подключения щупов мегаомметра

4. Проверить работоспособность прибора, путем визуального осмотра и закорачивания щупов, а также удостовериться в наличии отметки гос. поверки;
5. Измерить сопротивление изоляции соединительных проводов, значение которого должно быть не меньше верхнего предела измерения мегаомметра;
6. Установить предел измерения; если значение сопротивления изоляции неизвестно, то во избежание «зашкаливания» указателя измерителя необходимо начинать с наибольшего предела измерения; при выборе предела измерения следует руководствоваться тем, что точность будет наибольшей при отсчете показаний в рабочей части шкалы;

7. Убедиться в отсутствии напряжения на проверяемом объекте;
8. Отключить или закоротить все детали с пониженной изоляцией или пониженным испытательным напряжением, конденсаторы и полупроводниковые приборы;
9. На время подключения прибора заземлить испытываемую цепь;
10. Нажав кнопку и вращая ручку генератора индукторного мегаомметра со скоростью примерно 120 об/мин, через 15 секунд и 60 секунд, после начала измерения, зафиксировать значение сопротивления по шкале прибора;
11. Показания прибора записать в таблицу – 3.6 ;

Таблица 3.6 – Значения сопротивления спустя 15 с. и 60 с. от старта эксперимента.

	Фаза А	Фаза В	Фаза С	Нейтральный проводник N
15 с. от старта				
60 с. от старта				

12. Рассчитать коэффициент по формуле, для всех проводников

$$K_a = \frac{R_{60}}{R_{15}}.$$

13. Полученные данные записать в таблицу:

Таблица – Результаты расчета коэффициента абсорбции

Фаза А	Фаза В	Фаза С	Нейтральный проводник N

14. Разобрать схему прибора.

При измерениях сопротивления изоляции и коэффициента абсорбции должны строго соблюдаться осторожность и все требования правил техники

безопасности, так как напряжение мегаомметра опасно для жизни человека. После измерения необходимо разрядить объект измерения кратковременным соединением его с землей.

Контрольные вопросы:

1. Что такое коэффициент абсорбции?
2. Как и зачем вычисляют коэффициент абсорбции?
3. Расшифровать название испытуемого кабеля и рассказать где чаще всего применяют кабель этой марки.
4. Какие условия должны соблюдаться при измерении сопротивления изоляции и вычисления коэффициента абсорбции?
5. В чем заключается суть измерения электрическая изоляция?

Рекомендуемая литература:

1. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013.
2. Щербаков, Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: Учебное пособие / Е.Ф. Щербаков, Д.С. Александров, А.Л. Дубов. - М.: Форум, 2012.
3. Техника высоких напряжений / Под ред. Г.С. Кучинского. – С.-Петербург, 2003 г.
4. Правила устройства электроустановок. - М.: ДЕАН, 2012.

3.4 Лабораторная работа № 4 «Измерение сопротивления изоляции электрической машины и определение коэффициента абсорбции»

Цель лабораторной работы заключается в том, чтобы на учебном электродвигателе произвести замеры сопротивления изоляции и параллельно определить коэффициент абсорбции изоляции.

Необходимое оборудование:

- 1) Электродвигатель;
- 2) Прибор «Мегаомметр ЭСО - 210/3 - Г».

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) Замерить сопротивление изоляции каждой фазы;
- 2) Зафиксировать значения сопротивления на 15й секунде и спустя минуту после начала измерений;
- 3) Исходя из полученных данных произвести расчет коэффициента абсорбции.

Данная лабораторная работа – практическая. Для успешного ее выполнения студент должен выполнить все предыдущие лабораторные работы, так как работа № 4 включает в себе комплекс всех предшествующих ей работ и является, скорее, контрольной, показывающей кто и как усвоил материал. Работу рекомендуется выполнять бригадой численностью два и более человек. Присутствие инженера, закрепленного за лабораторией, обязательно.

Перед выполнением, студенты должны ознакомиться со следующими теоретическими сведениями.

Для того, чтобы узнать состояние изоляции изолированных элементов электрической машины, производят замер сопротивления данной изоляции относительно корпуса машины и между обмотками. Производимый замер изоляции позволит дать оценку дальнейшей работоспособности машины.

Измерения необходимо производить, соблюдая следующие требования:

- испытываемая установка должна находиться в остывшем состоянии;
- температура обмоток не учитывается;
- использовать мегаомметр, рассчитанный на напряжение 500 В - при номинальном напряжении обмотки до 500 В включительно;
- использовать мегаомметр, рассчитанный на напряжение ≥ 1000 В - при номинальном напряжении обмотки свыше 500 В.

В случае, когда производится замер сопротивления изоляции касательно корпуса электрической машины и между обмотками, опыт измерения производится поочередно для каждой цепи с самостоятельными выводами.

В случае, когда проводится опыт измерения сопротивления изоляции обмоток, рассчитанных на трехфазный ток и соединённых в звезду или треугольник, то замер производится для всей обмотки по отношению к корпусу.

Рекомендуется на время опыта отсоединять от корпуса все элементы, на которых производится замер сопротивления изоляции, а также защитные конденсаторы.

В случае, когда происходит замер сопротивления изоляции обмоток с водяным охлаждением, необходимо использовать мегаомметр с внутренним экраном. При проведении замера сопротивления изоляции, зажим, соединённый с экраном необходимо прикреплять к водосборным коллекторам, не имеющих, при этом, металлического соединения с внешней системой питания.

После окончания замера сопротивления изоляции, каждую цепь, в которой производилось измерение, следует разрядить путем соединения с заземленным корпусом машины.

Для обмоток на номинальное напряжение 3000 В и выше продолжительность соединения с корпусом должна быть:

- для машин мощностью до 1000 кВт — не менее 15 с;
- для машин мощностью более 1000 кВт — не менее 1 мин.

Если прибор мегаомметр рассчитан на напряжение 2,5 кВ, то время соединения с корпусом должно быть не менее трех минут, не зависимо от мощности машины.

Измерение сопротивления изоляции заложенных термопреобразователей сопротивления производится мегаомметром, рассчитанным на напряжение 500 В.

Если производится замер изолированных подшипников и уплотнений вала двигателя относительно корпуса, то температура должна равняться окружающей, а прибор должен быть рассчитан на напряжение не менее 1000 В.

Перед проведением измерения необходимо открыть вводное устройство электродвигателя, протереть изоляторы от пыли и загрязнения и подключить мегаомметр согласно схемы (рисунок 3.10).

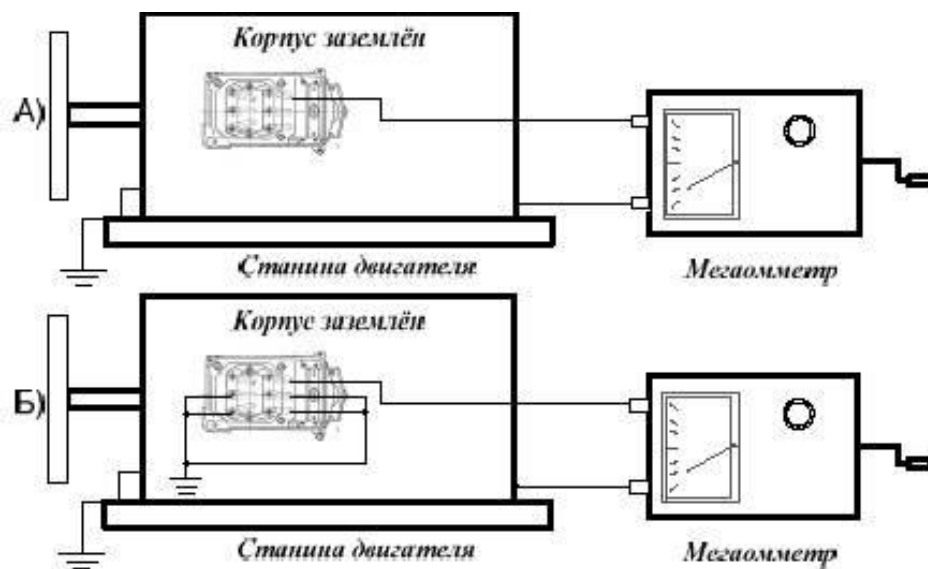


Рисунок 3.10 - Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателя

Рисунок А показывает схему подключения мегаомметра к испытуемому электродвигателю, у которого соединение обмоток произведено внутри и, следовательно, рассоединить их невозможно. В этом случае подключение мегаомметра осуществляется к любому зажиму статора испытуемого электродвигателя и сопротивление изоляции измеряется у всей обмотки сразу относительно корпуса.

На рисунке Б - замер сопротивления изоляции осуществляется у электродвигателя по каждой из частей обмотки отдельно, другие части обмотки закорачиваются.

В момент замера значения сопротивления изоляции, показания фиксируют раз в пятнадцать секунд. Результатом считается сопротивление, зафиксированное через шестьдесят секунд после начала измерения, а отношение показаний R_{60}/R_{15} является коэффициентом абсорбции.

В случае если номинальное напряжение двигателя равняется 0,4 кВ, тогда одномоментное измерение изоляции прибором на 2,5 кВ будет приравняться к высоковольтному испытанию.

Для синхронных двигателей рекомендуется, при замере сопротивления изоляции обмоток статора, заземлять обмотку ротора.

В лабораторной работе №4 используется трехфазный двигатель на напряжение 0,4 кВ (рисунок 3.11) [7,19].



Рисунок 3.11 – Используемый электродвигатель

При выполнении лабораторной работы студенты должны руководствоваться программой работы:

1. Получить допуск к работе у преподавателя;
2. Перед выполнением работы, убедиться, что установка обесточена;
3. Собрать схему для работы с прибором «Мегаомметр ЭС - 0210/3 - Г»;
4. Проверить работоспособность прибора, путем визуального осмотра и закорачивания щупов, а также удостовериться в наличии отметки гос. поверки;
5. Измерить сопротивление изоляции соединительных проводов, значение которого должно быть не меньше верхнего предела измерения мегаомметра;

6. Установить предел измерения;
7. Убедиться в отсутствии напряжения на проверяемом объекте;
8. Отключить или закоротить все детали с пониженной изоляцией или пониженным испытательным напряжением, конденсаторы и полупроводниковые приборы;
9. На время подключения прибора заземлить испытуемую цепь;
10. Нажав кнопку и вращая ручку генератора индукторного мегаомметра со скоростью примерно 120 об/мин, через 15 секунд и 60 секунд после начала измерения, зафиксировать значение сопротивления по шкале прибора;
11. Показания прибора записать в таблицу – 3.7;

Таблица – 3.7 Значения сопротивления спустя 15 с. и 60 с. от старта эксперимента.

	Фаза А - РЕ	Фаза В - РЕ	Фаза С - РЕ
15 с. от старта			
60 с. от старта			

12. Рассчитать коэффициент по формуле, для всех проводников

$$K_a = \frac{R_{60}}{R_{15}}.$$

13. Полученные данные записать в таблицу – 3.8:

Таблица 3.8 – Результаты расчета коэффициента абсорбции

Фаза А	Фаза В	Фаза С

14. Разобрать схему прибора.

После измерения необходимо разрядить объект измерения кратковременным соединением его с землей.

Контрольные вопросы:

1. Что такое коэффициент абсорбции?
2. Рассказать о возможных дефектах изоляции электродвигателя.
3. Как подключаются щупы мегаомметра к электродвигателю в случае, если схема соединения звезда, треугольник?
4. Какие условия должны соблюдаться при измерении сопротивления изоляции электродвигателя и вычисления коэффициента абсорбции?
5. Как проверяется работоспособность прибора мегаомметра?

Рекомендуемая литература:

1. Беспалов, В.Я. Электрические машины: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений /В.Я.Беспалов, Н.Ф.Котеленец. - 2-е изд. - М.: Издательский центр «Академия», 2008.
- 2 Немцов, М.В. Электротехника и электроника: учебник /М.В.Немцов, М.Л.Немцова.- 2-е изд. - М.: Академия, 2009.
3. Техника высоких напряжений / Под ред. Г.С. Кучинского. – С.-Петербург, 2003 г.
4. Варварин, В. К. Выбор и наладка электрооборудования. Справочное пособие /, М., 2006.
5. Жаворонков, М.А. Электротехника и электроника: Учебное пособие для студ. высш. проф. образования / М.А. Жаворонков, А.В. Кузин. - М.: ИЦ Академия, 2013.

3.5 Выводы по главе 3

1. Разработан лабораторный практикум, включающий в себя четыре лабораторных работы, три практических и одна теоретическая. Представленный комплекс лабораторных работ позволит студентам произвести измерительные испытания в сетях до 1 кВ, используя прибор мегаомметр ЭСО - 210/3 – Г.

2. Разработанный лабораторный практикум рассчитан на последовательное выполнение каждой лабораторной работы. Такой метод подачи материала позволит студентам легче усвоить материал.

Заключение

1. Проанализирована действующая система технического образования, а также организация учебного процесса высших учебных заведений. Выявлен основной недостаток – нехватка практических знаний.

2. Рассмотрены различные виды лабораторных практикумов, а именно:

- демонстрационный;
- виртуальный;
- удаленный.

Также, проведен анализ реализации учебного лабораторного оборудования, который наглядно показывает, как совершенствовались лабораторные стенды.

3. Рассмотрены сети номинальным напряжением до тысячи вольт. Описаны:

- возможные типы заземления оборудования;
- средства индивидуальной защиты;
- возможные измерительные приборы.

4. Подробно описаны характеристики и принцип действия прибора для измерения сопротивления изоляции «Мегаомметр ЭС0210/3Г».

5. На базе прибора «Мегаомметр ЭС0210/3Г» разработан лабораторный практикум, включающий в себя четыре лабораторных работы:

- Лабораторная работа № 1 «Измерения в сети номинальным напряжением до 1000 В. Знакомство с прибором «Мегаомметр ЭСО-210/3-Г»»;
- Лабораторная работа № 2 «Измерение сопротивления изоляции силового кабеля с медными жилами с ПВХ изоляцией рассчитанного на напряжение 660 В.»;
- Лабораторная работа № 3 «Определение коэффициента абсорбции на примере кабеля ВВГнг»;
- Лабораторная работа № 4 «Измерение сопротивления изоляции электрической машины и определение коэффициента абсорбции».

Список использованных источников

1. Бушуев, В.В. Энергоинформационные основы устойчивого развития (на примере российских регионов) / В.В. Бушуев. - М.: Книга по Требованию, 2012.
2. Виноградский, А. Ю. Пособие машинисту дизельной электростанции / А.Ю. Виноградский. - М.: Техника, 2014.
3. Вопросы общего электроприборостроения. - М.: Академии наук Украинской ССР, 2013.
4. Грозозащитные тросы для воздушных линий электропередачи 35-750 кВ. Технические требования. - М.: Альвис, 2014.
5. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г.К. Жерве. - М.: Государственное энергетическое издательство, 2016.
6. Кисаримов, Р. А. Знакомство с электричеством. Справочник / Р.А. Кисаримов. - М.: РадиоСофт, 2015.
7. ГОСТ 27430 – 87 (МЭК 34 – 10). Машины электрические вращающиеся. Условные обозначения для описания электрических машин.
8. Луизов, А. В. Цвет и свет / А.В. Луизов. - М.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 2014.
9. Наслэн, П. Основы цифровой вычислительной техники / П. Наслэн. - М.: Книга по Требованию, 2012.
10. Полуянович, Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий : учеб. пособие / Н. К. Полуянович. - СПб : Лань, 2012.
11. Филиппов, А. С. Ремонт и монтаж кабельных линий. / А.С. Филиппов, В.А. Филиппов.- часть 1 - М.: Техноперспектива, 2016.
12. Чернобровов, Н.В. Релейная защита / Н.В. Чернобровов. - М.: Книга по Требованию, 2013.

13. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений / Т.В. Анчарова, Е.Д. Стебунова, М.А. Рашевская. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2016.
14. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013.
15. Красных, А.А. Статистические показатели травматизма в электроэнергетике // Электробезопасность. - 2012. - № 6.
16. Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие для среднего профессионального образования / Е.А. Конюхова. - М.: ИЦ Академия, 2013.
17. Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование / Г.В. Коробов. - СПб: Лань, 2014.
18. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Б.И. Кудрин. - М.: ИЦ Академия, 2012.
19. Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. - М.: МЭИ, 2013.
20. Мамошин, Р.Р. Электроснабжение электрифицированных железных дорог: учебник / Р.Р. Мамошин, А.Н. Зимакова. - М.: Альянс, 2016.
21. Хорольский, В.Я. Прикладные методы для решения задач электроэнергетики. Учебное пособие / В.Я. Хорольский – Москва: Форум, 2015.
22. Плащанский, Л.А. Электроснабжение горного производства. Релейная защита / Л.А. Плащанский. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2013.
23. Рождествина, А.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий (для бакалавров) / А.А. Рождествина. - М.: КноРус, 2013.
24. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин. - М.: Радио и связь, 2012.

23. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии: Постановление Правительства РФ от 4 мая 2012 года №442.

24. Щербаков, Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление в строительстве: Учебное пособие / Е.Ф. Щербаков, Д.С. Александров, А.Л. Дубов. - СПб.: Лань, 2012.

25. Янукович, Г.И. Электроснабжение сельского хозяйства. Курсовое и дипломное проектирование: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений по специальности "Энергетическое обеспечение сельскохозяйственного производства" / Г.И. Янукович и до. - Мн.: ИВЦ Минфина, 2013.

26. Яхонтова, О. Электроснабжение и электропотребление в строительстве: Учебное пособие / О. Яхонтова, Л. Валенкевич, Я. Рутгайзер. - СПб.: Лань, 2012.

27. Правила устройства электроустановок. - М.: ДЕАН, 2012. - 255 с.

29. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей – М.:Омега-Л, 2015.

30. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники: Электромагнитное поле, учеб. для вузов / Л.А. Бессонов. - М.: Гардарики, 2014

31. Российская энциклопедия по охране труда. В 2 т. Т.1/ Гл. ред. А. П. Починок. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2013.

32. Dargahi, M. Controlling current and voltage type interfaces in power-hardware-in-the-loop simulations / M. Dargahi, A. Ghosh, P. Davari – IET, Power Electronics – 2014. - vol. 7, no. 10.

33. Ayasun, S. Testing system and power hard-ware-in-the-loop studies / S. Ayasun, S. Vallieu, R. Fischl. – IEEE, Power Electronics and Drives - 2003. - vol. 15, no. 2.

34. Ayasun, S. Electric machinery diagnostic / S. Ayasun, S. Vallieu, R. Fischl. – IEEE, Power Electronics and Drives - 2003. - vol. 15, no. 2.

35. Valente, W. Ground impedance assessment employing earth measurements, numerical simulations, and analytical techniques/ W. Valente, A. Raizer - Balneario Camboriu, Brazil: International Symposium, 2015.

36. Salathe, D. New methods for offline PD diagnosis on MV cable systems/ D. Salathe. - Tehran, Iran, 2017.