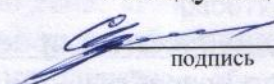


Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ
(институт)

ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

 С.В. Кузьмин
подпись инициалы, фамилия

«14» 02 2017 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА


21.05.04. Горное дело
(код и наименование специальности)

21.05.04.0010 Электрификация и автоматизация горного производства
(код и наименование специализации)

Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Средства и системы
обеспечения электробезопасности на горных предприятиях». Проектирование,
монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы
«Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока
напряжением до 1000 В»
(тема)

Пояснительная записка

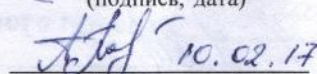
Руководитель

 11.02.17
(подпись, дата)

К.Т.Н. доцент
(должность, ученая степень)

В.А. Меньшиков
(инициалы, фамилия)

Выпускник

 10.02.17
(подпись, дата)

А.И. Полежаев
(инициалы, фамилия)

Красноярск 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему: Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях». Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» содержит 94 листа, 44 рисунка, 20 таблиц, 12 источников, 5 листов формата А1 графического материала.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ, РАЗРАБОТКА МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ЭКОНОМИКА

Объектом дипломного проектирования является лабораторная установка для исследования электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В.

Цель работы: разработать лабораторную установку для проведения экспериментальных исследований электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В.

В процессе работы проведены: моделирование лабораторной работы; разработка структурной и принципиальной электрической схемы лабораторной установки; разработка комплекта рабочей документации для изготовления лабораторной установки; техническая реализация установки; экспериментальные исследования; выводы по результатам исследований; разработка методических указаний по выполнению лабораторных работ.

Использование установки в лабораторном практикуме поможет студентам в закреплении теоретических знаний по тематике лекционного материала дисциплины «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

Оглавление

Введение.....	6
1. Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»	7
1.1 Действие электрического тока на организм человека	7
1.1.1 Виды поражения электрическим током.....	7
1.1.2 Факторы, определяющие действие электрического тока на организм человека.....	8
1.2 Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях.....	10
1.2.1 Общие положения	10
1.2.2 Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью	12
1.2.3 Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью	13
1.2.4. Двухфазное прикосновение человека	14
1.2.5 Выбор схемы сети и режима нейтрали	15
2. Проектирование лабораторной работы «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В»	16
2.1 Моделирование лабораторной работы в среде Multisim	16
2.2 Расчет лабораторной работы в системе Mathcad.....	17
2.3 Разработка общего дизайна лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»	23
2.4 Расчет и выбор сетей кабельных линий	27
2.5 Выбор коммутационных аппаратов по току нагрузки.....	30
2.7 Расчет и выбор освещения.....	32
2.8 Расположение оборудования в лаборатории	34
2.9 Проектирование и расчет силового трансформатора	37
3. Разработка методического обеспечения «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В»	40
3.1 Описание конструкции стенда	40
3.2 Монтажная схема и основные неполадки	42
3.3 Создание методического обеспечения и указания для выполнения работы	45
4. Безопасность жизнедеятельности.....	63

4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов	64
4.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда	64
4.3 Мероприятия по производственной санитарии.....	65
4.4 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности	66
5. Экономическая часть	67
5.1 Расчет затрат на приобретение электрооборудования	68
5.2 Расчет затрат на материалы	68
5.3 Расчет расходов по заработной плате персонала	70
Заключение	72
Список используемых источников.....	73
Приложения	74-94

Введение

В современном мире электроэнергия используется практически во всех отраслях жизнедеятельности человека, значительное ее применение получило горно – промышленное производство. Широкое применение электроэнергии, привело к значительному расширению круга лиц, которые связаны с эксплуатацией электрооборудования.

В связи с этим электробезопасности труда при эксплуатации электрооборудования уделяется огромное значение. Проблемы повышения электробезопасности решаются повседневным улучшением условий труда, совершенствованием мер защиты персонала и других лиц, связанных с эксплуатацией электроустановок, от опасности поражения электрическим током. Создаются новые средства защиты с учетом достижений в области электробезопасности.

Анализ несчастных случаев в горной промышленности, сопровождающихся временной утратой трудоспособности пострадавшими, показывает, что количество травм, вызванных электрическим током, сравнительно невелико и составляет около 1% от общего количества несчастных случаев на производстве. Но если рассматривать только смертельные несчастные случаи картина будет совершенно другой. Около 20 – 40% (а в энергетике до 60%) всех случаев со смертельным исходом происходит в результате поражения человека электрическим током, что больше, чем по какой – либо другой причине, причем 80% смертельных поражений электрическим током происходит в электроустановках до 1000В.

Последнее объясняется тем, что электроустановки напряжением до 1000В получили большое распространение на всем этапе горного производства, следовательно, с ними имеют дело все лица, работающие на производстве. В то время как электроустановки выше 1000В обслуживает сравнительно малочисленный, высококвалифицированный персонал.

Проанализировав однофазные и трехфазные сети с изолированной и глухозаземленной нейтралью источника, было выяснено, что однофазное включение человека к источнику с изолированной нейтралью всегда опасно. Для сетей до 1000В решающим фактором является значительная активная проводимость изоляции, а для сетей выше 1000В – емкостная проводимость фаз относительно земли. На основании этого было принято изготовить лабораторный стенд, для наглядного исследования электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В с изолированной и заземлённой нейтралью.

1. Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

1.1 Действие электрического тока на организм человека

1.1.1 Виды поражения электрическим током

Действие электрического тока на тело человека носит своеобразный и разносторонний характер. Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает термическое, электрическое, механическое (динамическое) и биологическое воздействие, последнее из которых присуще только живым тканям.

Термическое действие тока в виде ожогов отдельных участков тела, нагреве до высокой температуры кровеносных сосудов, нервов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока, что вызывает серьезные функциональные расстройства этих органов и организма в целом.

Электролитическое действие тока выражается разложением органической жидкости (электролизом), в том числе и крови, что сопровождается значительным изменением их физико – химического состава.

Механическое (динамическое) действие выражается в расслоении, разрыве и других подобных повреждениях различных тканей организма, в том числе мышц, стенок кровеносных сосудов, легочной ткани и др., в результате электродинамического эффекта, а также мгновенного взрывоподобного образования пара от прогрева током жидкости и крови.

Биологическое действие тока проявляется путем раздражения и возбуждения живых тканей организма, а также вследствие нарушения внутренних биологических процессов происходящих в организме, которые тесно связаны с жизненными функциями.

Два вида электрических травм. Многообразие действий электрического тока на организм человека нередко приводит к различным электрическим травмам, которые можно свести к двум видам:

- 1) местные электротравмы, которые вызывают местное повреждение организма;
- 2) общие (электрические удары), в результате которых поражается (или создается угроза поражения) весь организм, вследствие нарушения деятельности жизненно важных органов и систем.

Местные электротравмы обусловлены нарушением целостности тканей, в том числе и костей, вызванных влиянием электрического тока или электрической дуги, чаще всего, это поверхностные повреждения кожи, мягких тканей, связок и костей.

Местные травмы вылечиваются и работоспособность пострадавшего восстанавливается полностью или частично. К местным электротравмам относятся: электрические ожоги, электрические знаки, механические повреждения.

Электрический ожог – это повреждение поверхности тела под действием электрической дуги или больших токов проходящих через тело человека. Раз-

личают четыре степени ожогов:

- 1) Покраснение кожи;
- 2) Образование пузырей;
- 3) Отмирание всей толщи кожи;
- 4) Обугливание ткани.

Электрические знаки – это четко выраженные метки диаметром 1 – 5 мм, серого или бледно – желтого цвета, которые появляются на поверхности тела человека в месте контакта с токоведущими частями.

Металлизация кожи – проникновение в верхние слои кожи мельчайших частичек металла, расплавившегося под действием электрической дуги вследствие короткого замыкания или отключения рубильников под нагрузкой и т.п.

Механически повреждения в большинстве случаев являются следствием резких судорожных сокращений мышц, что ведет к разрывам сухожилий, кожи, кровеносных сосудов, нервной ткани, так же могут иметь место вывихи суставов и переломы костей.

Электроофтальмия – это воспаление внешних оболочек глаз, которые возникают под влиянием мощного потока ультрафиолетовых лучей. Электроофтальмия развивается через 4 – 8 часов после облучения, при этом образуется покраснение и воспаление кожи, слизистых оболочек век, слезы, гнойные выделения из глаз, частичная потеря зрения.

Электрический удар – это электротравма обусловленная рефлекторным действием электрического тока (действующего через нервную систему), в следствии чего, возникают спазмы мышц и тканей, нарушается деятельность сердечно – сосудистой системы.

В зависимости от поражения электрические удары делятся на 4 группы:

- 1) Спазматическое сокращение мышц без потери сознания
- 2) Спазматическое сокращение мышц с потерей сознания, но с функционирующими сердцем и дыхательной системой.
- 3) Потеря сознания с нарушением сердечной деятельности или органов дыхания.
- 4) Прекращение дыхания и кровообращения, клиническая смерть.

1.1.2 Факторы, определяющие действие электрического тока на организм человека

Опасное воздействие электрического тока на организм человека зависит главным образом от величины и длительности действия тока протекающего через тело человека, от пути протекания тока в теле человека, рода и частоты тока, состояния организма и физиологических особенностях человека, сопротивления тела человека, настороженности и повышенному вниманию человека к факторам окружающей среды.

1. Величина тока – в зависимости от последствий действий тока на организм человека различают:

- а) ощутимый ток – наименьшее значение тока, который ощущается чело-

веком (согласно опытов 0,5 – 2 мА при переменном токе, 5 – 7 мА при постоянном токе);

б) отпускающий ток – наибольшее значение тока, при котором человек сохраняет способность самостоятельно освободиться от контакта с частями находящимися под напряжением (согласно опытов 6 – 10 мА переменный ток, 30 – 40 мА постоянный ток);

в) неотпускающий ток – наименьшее значение тока, при котором человек теряет возможность самостоятельно освободиться от действий электрического тока (согласно опытов 11 – 15 мА переменный ток, 50 – 80 мА постоянный ток);

г) фибрилляционный ток – ток при котором наступает фибрилляция сердца и остановка дыхания (ток более 50 мА переменный, ток более 100 мА постоянный);

2. Продолжительность действия электрического тока – анализ несчастных случаев с людьми от воздействия электрического тока показывает, что длительность прохождения тока через организм, существенно влияет на исход поражения, чем продолжительнее действие тока, тем больше вероятность тяжелого или смертельного исхода.

Специальная комиссия созданная центральным правлением инженерно – технического общества энергетиков, на основании обобщения отечественных и зарубежных исследований, предложила допустимые для человека максимальные токи при различной длительности воздействия. В таблице 1.1 приведены соответствующие этим токам значения расчетного сопротивления человека и соответствующие напряжения (ГОСТ 12.1.038.2).

Таблица 1.1 – Значения расчетных сопротивлений человека и напряжений

Время протекания тока, с	Допустимая сила тока, А	Сопротивление тела человека, Ом	Напряжение прикосновения, В
0,2	250	700	175
0,5	100	1000	100
0,7	75	1065	80
1,0	65	1150	75
30	6	3000	18
>30	1	6000	6

3. Путь протекания электрического тока – экспериментальные исследования показывают, что если на пути протекания тока через тело человека, оказываются жизненно важные органы сердце, легкие, мозг, то тяжесть поражения существенно возрастает, если ток проходит иными путями, то его влияние, может быть рефлекторным. Статистика показывает, что чаще всего случаи с тяжелыми и смертельными последствиями возникают, при протекании тока по путям: рука – рука (40% случаев), правая рука – нога (20% случаев), левая рука – нога (17% случаев), нога – нога (6% случаев), остальные 17% разные пути.

4. Род тока – действующие, в настоящее время, нормы не разграничивают в отношении опасности постоянный и переменный ток. Исследователи объясняют меньшую опасность постоянного тока наличием в сопротивлении тела человека емкостной составляющей.

5. Частота тока – на основании опытных данных установлено, что ток частотой 50 – 60 Гц является наиболее опасным, увеличение частоты до 2000 – 2500 Гц мало влияет на снижение опасности воздействия, дальнейший рост частоты тока сопровождается снижением опасности, так как не влечет за собой прекращение работы сердца и других органов, однако, эти токи сохраняют опасность ожогов. Применяемые в медицине для глубокого прогрева токи частотой в сотни тысяч Гц являются безопасными не смотря на то, что величина тока достигает 1 А и более.

6. Состояние организма и физиологические возможности человека. Действие электрического тока на организм зависит: от химического состава крови, количества проводящих щелочей и кислот, от психического состояния человека и других факторов. В состоянии бодрствования или напряженном влиянии человека, время действия тока ослабляется, в состоянии опьянения или неожиданном положении, действие тока становится более опасным. Квалификация и опыт, повышенное внимание и ответственность за свои действия, позволяют снизить опасность от поражения электрическим током.

7. Сопротивление тела человека – зависит от множества факторов: места контакта, размеров поверхности соприкосновения, состояния кожи, ее влажности, загрязненности, величины приложенного напряжения и протекающего тока, под действием которого сопротивление тела человека, обладающее не линейностью, сильно меняется. При напряжении 20 – 30 В сопротивление тела человека практически не меняется, с увеличением напряжения в пределах от 20 – 250 В сопротивление тела человека резко уменьшается, в следствии резко выраженного пробоя кожи, в связи с чем создается контакт с хорошо проводящими тканями, при этом сопротивление тела человека может снизиться от нескольких десятков, сотен и тысяч Ом до 1000 Ом и ниже. При напряжении 250 В сопротивление тела человека, уже мало зависит от состояния кожи.

1.2 Анализ опасности поражения током в различных электрических сетях

1.2.1 Общие положения

Все случаи поражения человека током в результате электрического удара, то есть прохождения тока через человека, являются следствием его прикосновения не менее чем к двум точкам электрической цепи, между которыми существует некоторое напряжение. Опасность такого прикосновения, оцениваемая, как известно, током, проходящим через тело человека или напряжением, под которым он оказывается, то есть напряжением прикосновения, зависит от ряда факторов: схемы включения человека в электрическую цепь, напряжение сети, схемы самой сети, режима ее нейтрали, степени изоляции токоведущих частей

от земли, а также емкости токоведущих частей относительно земли. Отсюда следует, что указанная опасность не однозначна: в одних случаях включение человека в электрическую цепь будет сопровождаться прохождением через него малых токов и окажется не опасным, в других токи могут достигать больших значений, способных вызвать смертельное поражение человека.

Сети переменного тока бывают однофазными и многофазными. В промышленности преимущественно применяют трехфазные и значительно реже однофазные.

Однофазные сети могут быть двухпроводными изолированными от земли или с заземленным проводом и однопроводными, когда роль второго провода играет земля, рельс и т.п.

Двухпроводные сети используют для питания малым напряжением – 12; 24; 36; 48 В – ручных переносных ламп, электрифицированных инструментов и подобных им потребителей, а при более высоких напряжениях – 127; 220; 380 В и выше – для питания сварочных трансформаторов, испытательных установок и других потребителей.

Трехфазные сети в зависимости от режима нейтрали глухозаземленная или изолированная и наличия нулевого или нейтрального проводника, могут быть выполнены по пяти схемам включения режима нейтрали:

- 1) IT – трехфазная, трехпроводная сеть с изолированной нейтралью силового трансформатора и заземлением корпусов электроустановок;
- 2) TT – трехфазная, трехпроводная сеть с заземленной нейтралью силового трансформатора и корпуса электроустановки;
- 3) TN – C – трехфазная, четырехпроводная сеть с заземлением нейтрали силового трансформатора и корпусов электроустановок, с занулением корпуса электроустановки на 4 провод (PEN – защитный заземляющий нулевой);
- 4) TN – S – трехфазная пяти проводная сеть с заземлением нейтрали силового трансформатора, корпусов электроустановок (отдельный нулевой провод – N и отдельный защитный заземляющий провод – PE);
- 5) TN – C – S – комбинированная, трехфазная сеть.

Нейтральная точка (нейтраль) – обмотки источника или потребителя энергии, есть точка, напряжение которой относительно всех внешних выводов обмотки одинаковы по абсолютному значению.

В сетях однофазных и многофазных питающихся от источников энергии не имеющих нейтральной точки (например, трансформатор трехфазного тока, обмотки которого соединены треугольником), может быть создана искусственная нейтральная точка, с помощью резисторов, трансформаторов и т.п.

Заземленная нейтральная точка носит название нулевой точки. Нейтраль, заземленная путем непосредственного присоединения к заземлителю или через малое сопротивление, называется глухозаземленной нейтралью.

На некоторых предприятиях России создан так называемый переменный режим нейтрали: при нормальной работе сети нейтраль изолирована, а в момент аварии она автоматически заземляется. Таким образом используются положительные свойства сети с изолированной нейтралью при нормальном ре-

жиме работы и положительные свойства сети с глухозаземленной нейтралью – в аварийном режиме.

Схемы включения человека в цепь могут быть разными, однако наиболее распространены две схемы включения: между двумя фазами электрической сети и между одной фазой и землей, во втором случае предполагается электрическая связь между сетью и землей. Применительно к сетям переменного тока первая схема соответствует двухфазному прикосновению, а вторая – однофазному.

Двухфазное прикосновение, обычно, более опасно, поскольку к телу человека прикладывается наибольшее напряжение – линейное.

1.2.2 Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

Определение напряжения прикосновения и тока, проходящего через тело человека, в случае прикосновения его к одной из фаз трехфазной сети является наиболее сложным.

В нормальном режиме работы при однофазном прикосновении сила тока, проходящего через человека для случая симметричного сопротивления изоляции фаз, т.е. $R_A = R_B = R_C = R$ и $C_A = C_B = C_C = C$, определится выражением в комплексной форме:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + Z/3}, \text{ А} \quad (1.1)$$

где R_h – сопротивление тела человека, Ом;

Z – полное сопротивление одной фазы относительно земли, Ом.

$$Z = \frac{R_{из}}{(1 + j\omega C R_{из})}, \text{ Ом} \quad (1.2)$$

где $R_{из}$ – активное сопротивление изоляции, Ом;

ω – угловая частота, с^{-1} ;

C – емкость провода относительно земли, Ф.

Для воздушных сетей малой протяженности емкость проводов относительно земли незначительна ($C \approx 0$), тогда сила тока, протекающего через человека, выразится зависимостью:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + \frac{R_{из}}{3}}, \text{ А} \quad (1.3)$$

При $U_\phi = 220 \text{ В}$, $R_h = 1000 \text{ Ом}$, $R_{из} = 500\,000 \text{ Ом}$, сила тока через человека $I_h = 1,3 \text{ мА}$, т.е. относительно не опасна (ощутимый ток).

При использовании кабельных линий емкости проводов относительно земли и сопротивления изоляции имеют очень большое значение ($C \neq 0$;

$R_{из} \rightarrow \infty$), тогда сила тока, протекающего через человека:

$$I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + (X_c/3)^2}}, A \quad (1.4)$$

где $X_c = 1/C$ – емкостное сопротивление изоляции проводов, Ом.

Из рассмотренных выражений следует, что сила тока, проходящего через человека, зависит от активного сопротивления изоляции (характерно для воздушных сетей) и емкостного сопротивления изоляции проводов (характерно для кабельных сетей).

В аварийном режиме, когда одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление $r_{зм}$, человек, прикасаясь к другой фазе, оказывается включенным между двух фаз. Величина тока, проходящего через человека:

$$I_h = \frac{U_\phi \sqrt{3}}{R_h + r_{зм}}, A \quad (1.5)$$

При $U_\phi = 220$ В, $R_h = 1000$ Ом, $r_{зм} = 0,5$ величина тока через человека $I_h = 380$ мА, т.е. смертельна.

В аварийном режиме сила тока, проходящего через человека, резко возрастает, т.к. защитная роль сопротивлений изоляции сводится к нулю (т.к. $r_{зм} \ll R_{из}$). Следовательно, в аварийном режиме значительно увеличивается опасность поражения электрическим током.

1.2.3 Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

В нормальном режиме при однофазном прикосновении напряжение прикосновения практически равно фазному ($U_{пр} \approx U_\phi$), поскольку сопротивление заземления нейтрали $r_0 \ll R_h$. Сила тока, проходящего через человека, определяется выражением:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0}, A \quad (1.6)$$

То есть сила тока через человека зависит только от сопротивления человека и не зависит от качества изоляции. При $U_\phi = 220$ В, $R_h = 1000$ Ом, $r_0 = 4$ Ом сила тока через человека $I_h \approx 220$ мА, т.е. смертельна.

В аварийном режиме одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление $r_{зм}$.

Если сопротивление замыкания фазы на землю $r_{зм} = 0$, то напряжение прикосновения $U_{пр} = \sqrt{3}U_\phi = U_L$. Если сопротивление заземления нейтрали $r_0 = 0$, то аварийная фаза окажется соединенной с нейтралью и напряжение прикосновения $U_{пр} = U_\phi$. Оба случая являются смертельными для человека. В действи-

тельности $r_{3M} \neq 0$ и $r_0 \neq 0$, кроме того $r_{3M} \gg r_0$, поэтому напряжение прикосновения, под которым окажется человек определяется зависимостью:

$$\sqrt{3}U_{\phi} \gg U_{пр} > U_{\phi} \quad (1.7)$$

Если величина $r_{3M} \approx r_0$, то сила тока, проходящего через человека:

$$I_h = \frac{U_{\phi}(r_{3M} + r_0 \sqrt{3})}{r_{3M}r_0 + R_h(Z_{3M} + r_0)} = \frac{U_{\phi} \cdot 1,35}{R_h}, A \quad (1.8)$$

Возрастание напряжения прикосновения и силы тока через человека повышает опасность сети с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме по сравнению с нормальным режимом работы.

1.2.4. Двухфазное прикосновение человека

Сила тока через человека при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции, а определяется только линейным напряжением и сопротивлением человека:

$$I_h = \frac{U_{л}}{R_h}, A \quad (1.9)$$

При $U_{л} = 380$ В, $R_h = 1000$ Ом сила тока через человека $I_h = 380$ мА, т.е. смертельна.

Сравнительная оценка двух видов фазных сетей показывает следующее:

1. При однофазном прикосновении в период нормальной работы сети ток через человека определяется:

– в сети с изолированной нейтралью – сопротивлением изоляции и емкостью фаз относительно земли;

– в сети с глухозаземленной нейтралью – только сопротивлением человека.

2. Однофазное прикосновение к сети с изолированной нейтралью с малой емкостью и высоким сопротивлением изоляции безопаснее, чем прикосновение к сети с глухозаземленной нейтралью.

3. Однофазное прикосновение в период аварийной работы сети в сети с изолированной нейтралью опаснее, чем в сети с глухозаземленной нейтралью. Защитная роль изоляции сводится к нулю и резко возрастает ток через человека.

4. Опасность поражения при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции. Этот случай является наиболее опасным.

1.2.5 Выбор схемы сети и режима нейтрали

Схема сети, а, следовательно, и режим нейтрали источника тока, питающего эту сеть, выбираются по технологическим требованиям, а также по условиям безопасности.

При напряжении до 1000В в России, наибольшее распространение получили две схемы трехфазных сетей: трехпроводная с изолированной нейтралью и четырехпроводная с глухозаземленной нейтралью.

По технологическим требованиям предпочтение, как правило, отдают четырехпроводной сети, так как она позволяет использовать два рабочих напряжения – линейное и фазное. Например, от четырехпроводной сети 380В может получать питание как силовая нагрузка – трехфазная или однофазная, включив ее между фазными проводами на линейное напряжение 380В, так и осветительная нагрузка, включив ее между фазным и нулевым проводом, то есть на фазное напряжение 220В. При этом снижается стоимость электроустановки в целом благодаря применению меньшего числа трансформаторов, меньшего сечения проводов и т.п.

По условиям безопасности выбор одной из двух схем производится с учетом выводов, полученных при рассмотрении этих сетей, а именно: по условиям прикосновения к фазному проводу в период нормального режима работы сети более безопасна, как правило, сеть с изолированной нейтралью, а в аварийный период – сеть с глухозаземленной нейтралью.

Поэтому по условиям безопасности сети с изолированной нейтралью целесообразно применять на объектах с повышенной опасностью поражения электрическим током и в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать на должном уровне изоляцию проводов сети относительно земли и когда емкость проводов относительно земли не значительна. Такими являются сравнительно короткие сети, в большинстве случаев, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным надзором электротехнического персонала. ПУЭ рекомендует использовать трехфазные трехпроводные сети с изолированной нейтралью при повышенных требованиях безопасности: для шахт, карьеров, торфяных разработок, передвижных установок и т.д.

Сети четырехпроводные с глухозаземленной нейтралью, следует применять там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов (в следствии высокой влажности, большой протяженности, агрессивной среды и т.п.), когда нельзя быстро отыскать или устранить повреждение изоляции или когда емкостные токи замыкания на землю достигают больших значений, опасных для жизни человека. Примером таких сетей могут служить сети крупных промышленных предприятий, городские сети.

Сети пятипроводные с нейтральным рабочим (N) и нулевым защитным (PE) проводниками, само по себе использование сети TN – S не обеспечивает электробезопасность при косвенном прикосновении, так как при пробое изоляции на корпусе, как и в сети TN – C, возникает опасный потенциал. Однако в сетях TN – S возможно использование УЗО. При наличии этих устройств уро-

вень электробезопасности в сети TN – S существенно выше, чем в сети TN – C. При пробое изоляции в сети TN– S также возникает вынос потенциала на корпуса других электроприемников, связанных проводником РЕ. Однако быстрое действие УЗО в этом случае обеспечивает безопасность.

В отличие от сетей TN – C обрыв нулевого рабочего проводника в сети TN – S не влечет за собой появление фазного напряжения на корпусах всех связанных данной линией питания электроприемников.

2. Проектирование лабораторной работы «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В»

2.1 Моделирование лабораторной работы в среде Multisim

Перед тем как приступить к практической реализации лабораторной работы, необходимо произвести компьютерное моделирование проектируемой схемы в среде Multisim. В ходе моделирования было принято решение, что стенд будет подключен к напряжению 24В, а все значения активных и емкостных сопротивлений будут подобраны таким образом, чтобы получились токи как при $U=220В$, только при безопасном напряжении. В результате на шкалах приборов получаться абсолютно такие же значения как при $U=220В$. На рисунке 2.1 приведена схема испытательного стенда в среде Multisim. В среде Multisim были собраны и протестированы схемы на 220 В и на 24 В.

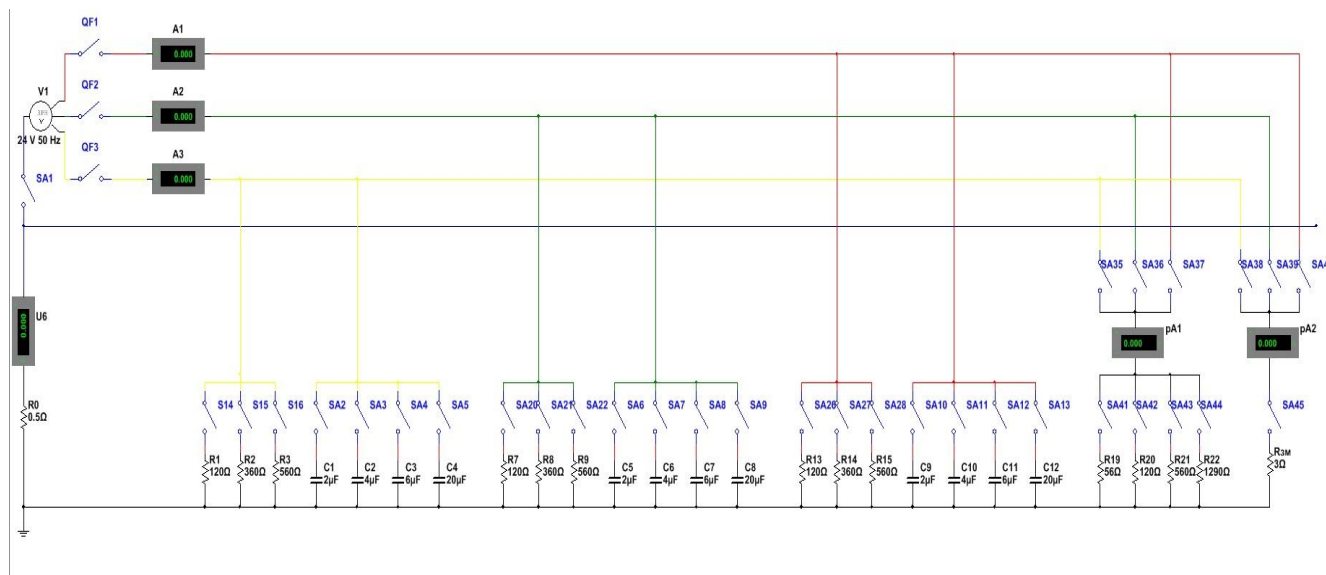


Рисунок 2.1 – Схема испытательного стенда в среде Multisim

В ходе моделирования в среде Multisim, были взяты реальные значения существующих активных сопротивлений изоляции и емкостей проводов относительно земли, при напряжении 220В, а также реальные сопротивления тела человека, после они были пересчитаны на напряжение 24В, полученные опытные

данные токов проходящих через тело человека, были такими же как и в сети 220В.

В дальнейшем был произведен расчет в системе Mathcad токов в изолированной и глухозаземленной сети.

2.2 Расчет лабораторной работы в системе Mathcad

Опыт №1 – Для емкости 2мкФ, $R_{\text{человека}} = 500 \text{ Ом}$ (для 24В 56 Ом),
 $R_{\text{изоляция}} = 120 \text{ Ом}$:

$$U1 := 24$$

$$Rh := 56$$

$$Riz := 120$$

$$C := 2 \cdot 10^{-6}$$

$$w := 314$$

$$z1 := \frac{Riz}{1 + w \cdot C \cdot 120i}$$

$$Ih := \frac{U1}{Rh + \left(\frac{z1}{3}\right)}$$

$$Ih = 0.25 + 7.835i \times 10^{-3}$$

$$z1 = 119.322 - 8.992i$$

$$|Ih| = 0.25$$

В сети с глухозаземленной нейтралью:

$$Ih := \frac{24}{56 + 0.5}$$

$$Ih = 0.425$$

Опыт №1 – Для емкости 2мкФ, $R_{\text{человека}} = 1000 \text{ Ом}$ (для 24В 120 Ом),
 $R_{\text{изоляция}} = 120 \text{ Ом}$:

$$U1 := 24$$

$$Rh := 120$$

$$Riz := 120$$

$$C := 2 \cdot 10^{-6}$$

$$w := 314$$

$$z1 := \frac{Riz}{1 + w \cdot C \cdot 120i}$$

$$Ih := \frac{U1}{Rh + \left(\frac{z1}{3}\right)}$$

$$I_h = 0.15 + 2.817i \times 10^{-3}$$

$$z_1 = 119.322 - 8.992i$$

$$|I_h| = 0.15$$

В сети с глухозаземленной нейтралью:

$$I_h = \frac{24}{120 + 0.5}$$

$$I_h = 0.199$$

Опыт №1 – Для емкости 2мкФ, $R_{\text{человка}} = 5000 \text{ Ом}$ (для 24В 560 Ом),

$R_{\text{изоляция}} = 120 \text{ Ом}$:

$$U_1 = 24$$

$$R_h = 560$$

$$R_{iz} = 120$$

$$C = 2 \cdot 10^{-6}$$

$$w = 314$$

$$z_1 = \frac{R_{iz}}{1 + w \cdot C \cdot 120i}$$

$$I_h = \frac{U_1}{R_h + \left(\frac{z_1}{3}\right)}$$

$$I_h = 0.04 + 2i \times 10^{-4}$$

$$z_1 = 119.322 - 8.992i$$

$$|I_h| = 0.04$$

В сети с глухозаземленной нейтралью:

$$I_h = \frac{24}{560 + 0.5}$$

$$I_h = 0.043$$

Опыт №1 – Для емкости 2мкФ, $R_{\text{человка}} = 10000 \text{ Ом}$ (для 24В 1290 Ом),

$R_{\text{изоляция}} = 120 \text{ Ом}$:

$$U_1 = 24$$

$$R_h = 1290$$

$$R_{iz} = 120$$

$$C = 2 \cdot 10^{-6}$$

$$w = 314$$

$$z_1 = \frac{R_{iz}}{1 + w \cdot C \cdot 120i}$$

$$I_h = \frac{U_1}{R_h + \left(\frac{z_1}{3}\right)}$$

$$I_h = 0.018 + 4.068i \times 10^{-5}$$

$$z1 = 119.322 - 8.992i$$

$$|I_h| = 0.018$$

В сети с глухозаземленной нейтралью:

$$I_h := \frac{24}{1290 + 0.5}$$

$$I_h = 0.019$$

Опыт №2 – Для емкости 2мкФ, $R_{\text{человска}} = 500 \text{ Ом}$ (для 24В 56 Ом),
 $R_{\text{изоляция}} = 120 \text{ Ом}$:

$$U1 := 24$$

$$R_h := 56$$

$$R_{iz} := 120$$

$$C := 2 \cdot 10^{-6}$$

$$w := 314$$

$$z1 := \frac{R_{iz}}{1 + w \cdot C \cdot 120i}$$

$$I_h := \frac{U1}{R_h + \left(\frac{z1}{3}\right)}$$

$$I_h = 0.25 + 7.835i \times 10^{-3}$$

$$z1 = 119.322 - 8.992i$$

$$|I_h| = 0.25$$

В сети с глухозаземленной нейтралью:

$$I_h := \frac{24}{56 + 0.5}$$

$$I_h = 0.425$$

Опыт №2 – Для емкости 2мкФ, $R_{\text{человска}} = 500 \text{ Ом}$ (для 24В 56 Ом),
 $R_{\text{изоляция}} = 360 \text{ Ом}$:

$$U1 := 24$$

$$R_h := 56$$

$$R_{iz} := 360$$

$$C := 2 \cdot 10^{-6}$$

$$w := 314$$

$$z1 := \frac{R_{iz}}{1 + w \cdot C \cdot 360i}$$

$$I_h := \frac{U1}{R_h + \left(\frac{z1}{3}\right)}$$

$$I_h = 0.138 + 0.021i$$

$$z1 = 342.494 - 77.431i$$

$$|Ih| = 0.139$$

В сети с глухозаземленной нейтралью:

$$Ih := \frac{24}{56 + 0.5}$$

$$Ih = 0.425$$

Опыт №2 – Для емкости 2мкФ, $R_{\text{человека}} = 500$ Ом (для 24В 56 Ом),
 $R_{\text{изоляции}} = 560$ Ом:

$$U1 := 24$$

$$Rh := 56$$

$$Riz := 560$$

$$C := 2 \cdot 10^{-6}$$

$$w := 314$$

$$z1 := \frac{Riz}{1 + w \cdot C \cdot 560i}$$

$$Ih := \frac{U1}{Rh + \left(\frac{z1}{3}\right)}$$

$$Ih = 0.101 + 0.027i$$

$$z1 = 498.363 - 175.264i$$

$$|Ih| = 0.104$$

В сети с глухозаземленной нейтралью:

$$Ih := \frac{24}{56 + 0.5}$$

$$Ih = 0.425$$

Опыт №3 – Для емкости 2мкФ, $R_{\text{человека}} = 500$ Ом (для 24В 56 Ом),
 $R_{\text{изоляции}} = 120$ Ом:

$$U1 := 24$$

$$Rh := 56$$

$$Riz := 120$$

$$C := 2 \cdot 10^{-6}$$

$$w := 314$$

$$z1 := \frac{Riz}{1 + w \cdot C \cdot 120i}$$

$$Ih := \frac{U1}{Rh + \left(\frac{z1}{3}\right)}$$

$$Ih = 0.25 + 7.835i \times 10^{-3}$$

$$z1 = 119.322 - 8.992i$$

$$|Ih| = 0.25$$

В сети с глухозаземленной нейтралью:

$$\underline{I_h} := \frac{24}{56 + 0.5}$$

$$I_h = 0.425$$

Опыт №3 – Для емкости 4мкФ, $R_{\text{человека}} = 500 \text{ Ом}$ (для 24В 56 Ом),

$R_{\text{изоляция}} = 120 \text{ Ом}$:

$$U1 := 24$$

$$R_h := 56$$

$$R_{iz} := 120$$

$$C := 4 \cdot 10^{-6}$$

$$w := 314$$

$$z1 := \frac{R_{iz}}{1 + w \cdot C \cdot 120i}$$

$$\underline{I_h} := \frac{U1}{R_h + \left(\frac{z1}{3}\right)}$$

$$I_h = 0.251 + 0.016i$$

$$z1 = 117.335 - 17.685i$$

$$|I_h| = 0.252$$

В сети с глухозаземленной нейтралью:

$$\underline{I_h} := \frac{24}{56 + 0.5}$$

$$I_h = 0.425$$

Опыт №3 – Для емкости 6мкФ, $R_{\text{человека}} = 500 \text{ Ом}$ (для 24В 56 Ом),

$R_{\text{изоляция}} = 120 \text{ Ом}$:

$$U1 := 24$$

$$R_h := 56$$

$$R_{iz} := 120$$

$$C := 6 \cdot 10^{-6}$$

$$w := 314$$

$$z1 := \frac{R_{iz}}{1 + w \cdot C \cdot 120i}$$

$$\underline{I_h} := \frac{U1}{R_h + \left(\frac{z1}{3}\right)}$$

$$I_h = 0.253 + 0.023i$$

$$z1 = 114.165 - 25.81i$$

$$|I_h| = 0.254$$

В сети с глухозаземленной нейтралью:

$$\underline{I_h} := \frac{24}{56 + 0.5}$$

$$I_h = 0.425$$

Опыт №3 – Для емкости 20мкФ, $R_{\text{человека}} = 500 \text{ Ом}$ (для 24В 56 Ом),
 $R_{\text{изоляции}} = 120 \text{ Ом}$:

$$U1 := 24$$

$$R_h := 56$$

$$R_{iz} := 120$$

$$C := 20 \cdot 10^{-6}$$

$$w := 314$$

$$z1 := \frac{R_{iz}}{1 + w \cdot C \cdot 120i}$$

$$I_h := \frac{U1}{R_h + \left(\frac{z1}{3}\right)}$$

$$I_h = 0.279 + 0.066i$$

$$z1 = 76.535 - 57.677i$$

$$|I_h| = 0.287$$

В сети с глухозаземленной нейтралью:

$$\underline{I_h} := \frac{24}{56 + 0.5}$$

$$I_h = 0.425$$

Опыт №4 – Нормальный режим работы (изолированная нейтраль):

$$U1 := 24$$

$$R_h := 56$$

$$R_{iz} := 120$$

$$C := 4 \cdot 10^{-6}$$

$$w := 314$$

$$z1 := \frac{R_{iz}}{1 + w \cdot C \cdot 120i}$$

$$I_h := \frac{U1}{R_h + \left(\frac{z1}{3}\right)}$$

$$I_h = 0.251 + 0.016i$$

$$z1 = 117.335 - 17.685i$$

$$|I_h| = 0.252$$

В сети с глухозаземленной нейтралью:

$$I_{h\text{г}} := \frac{24}{56 + 0.5}$$

$$I_h = 0.425$$

Опыт №4 – Аварийный режим работы (глухозаземленная нейтраль):

$$I_{h\text{г}} := \frac{24}{120 + 3.5}$$

$$I_h = 0.194$$

Опыт №4 – Аварийный режим работы (изолированная нейтраль):

$$I_{h\text{г}} := \frac{24 \cdot \sqrt{3}}{120 + 0.5}$$

$$I_h = 0.345$$

Так как данные расчетов в среде Multisim и Mathcad не отличаются от опытных данных приведенных в научной литературе, принято решение о создании лабораторного стенда по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» и разработке методического обеспечения для лабораторной работы на тему «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В».

2.3 Разработка общего дизайна лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

Лаборатория по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» расположена на третьем этаже учебного корпуса Института Горного Дела Геологии и Геотехнологий Сибирского Федерального Университета, в аудитории №309а.

Аудитория №309а в учебном корпусе оборудована перегородками из ПВХ материала с вставками из прозрачного стекла для равномерного освещения всего помещения естественным способом. Перегородки установлены для отделения учебной зоны от зоны расположения лабораторных стендов.

На рисунке 2.2 и 2.3 приведено помещение, в котором располагается данная лаборатория.



Рисунок 2.2 – Аудитория №309а



Рисунок 2.3 – Аудитория №309а

На рисунке 2.4 приведен внешний вид лабораторного стенда по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях», в котором совмещены работы «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

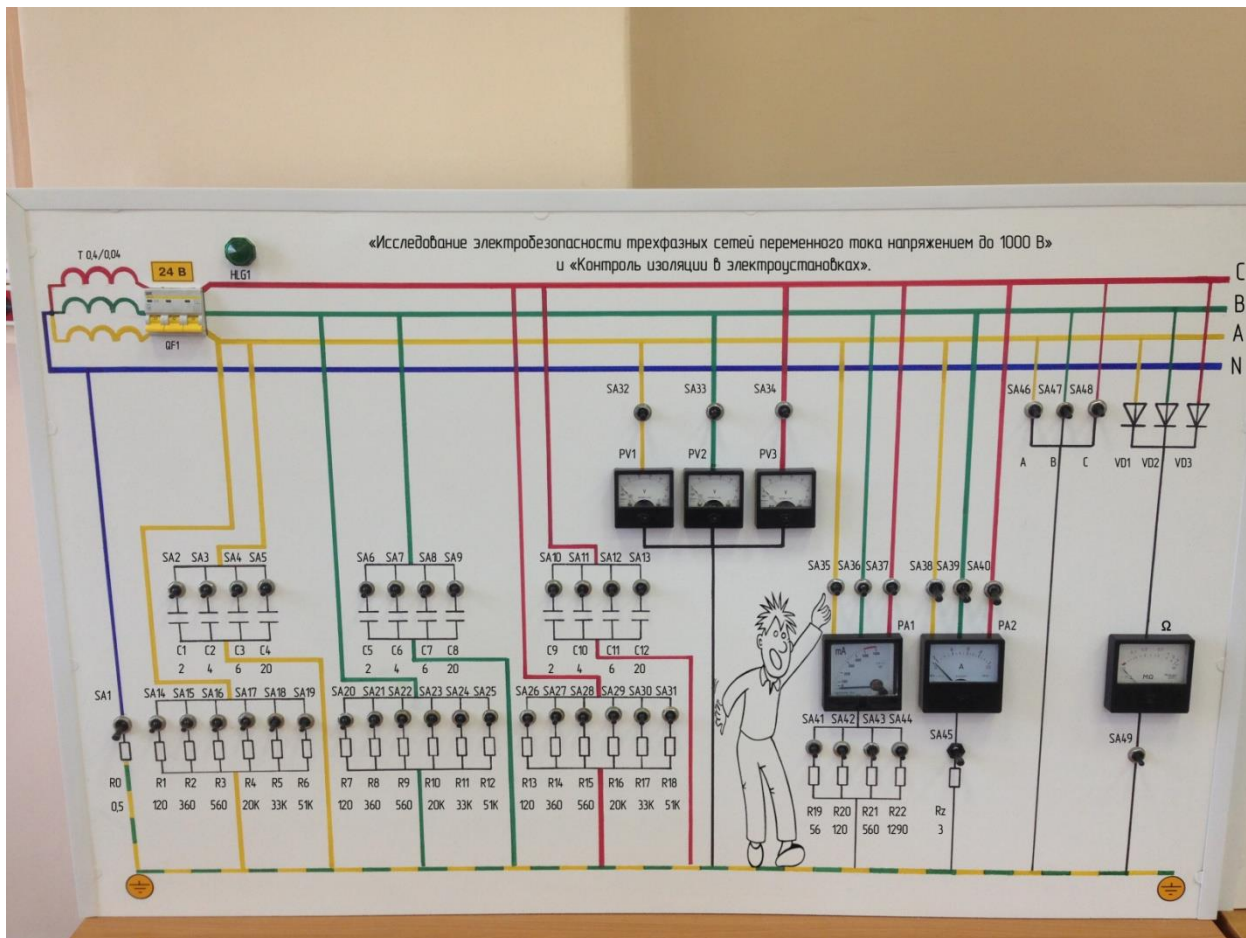


Рисунок 2.4 – Внешний вид стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

Внешний вид лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» и лаборатории по курсу «Релейная защита и автоматика», в аудитории №309а, приведен на рисунке 2.5.

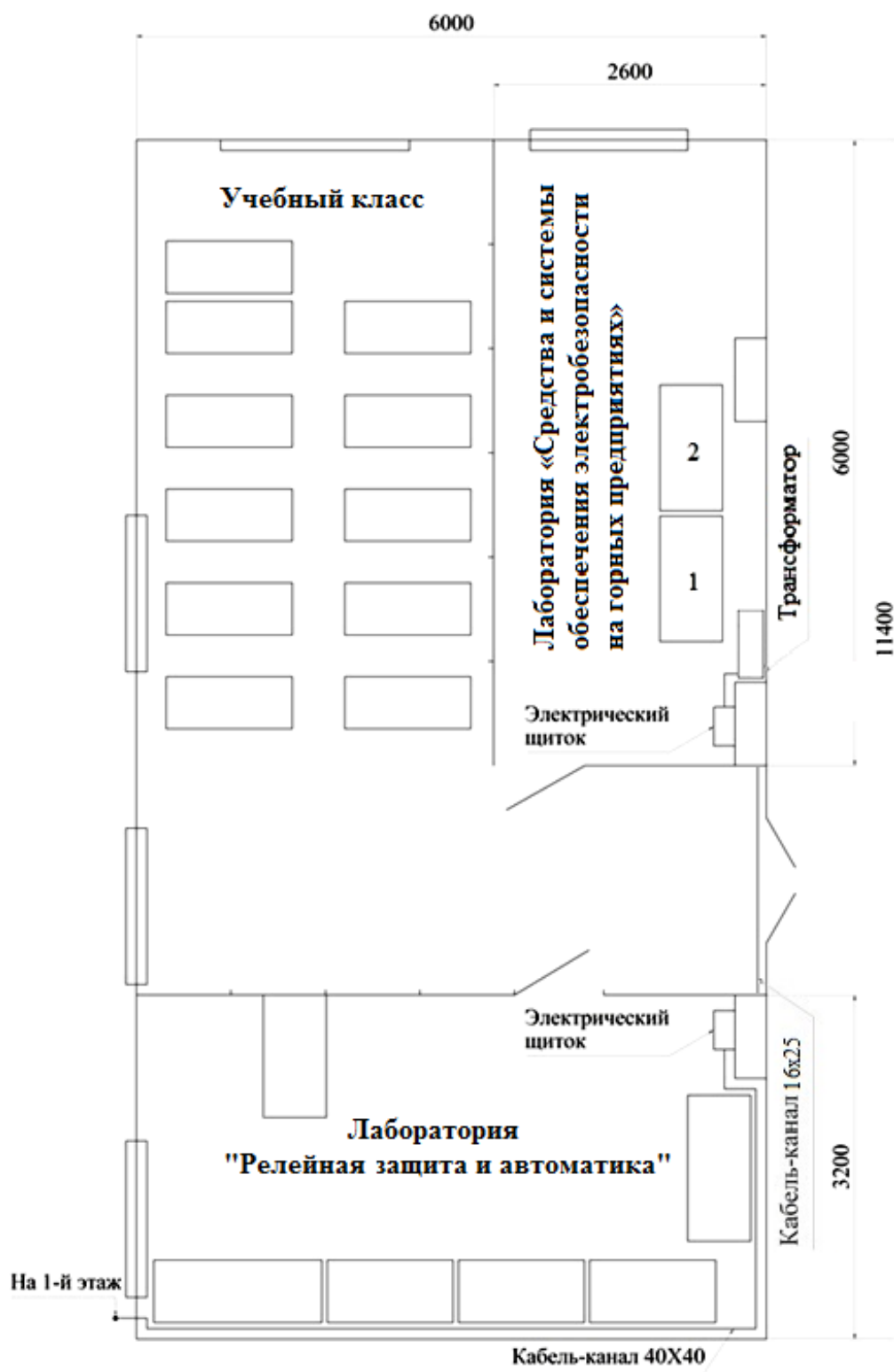


Рисунок 2.5 – Внешний вид лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» и лаборатории по курсу «Релейная защита и автоматика»

- 1) Стенд «Исследование эффективности защитного заземления и зануления в трехфазных сетях»
- 2) Стенд «Исследование электробезопасности трехфазных сетей»

переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

2.4 Расчет и выбор сетей кабельных линий

Электроснабжение стендов в лаборатории «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» осуществляется от сети 220В через силовые понижающие трансформаторы 220В/24В.

Лаборатория оборудована электрическим распределительным щитком ЩРН – П8, питание которого осуществляется с первого этажа кабелем КГ 4х4 проложенному по внешнему фасаду здания в гофрированной трубе ПНД, завезенным через внешнюю стену в аудиторию №309а. Внутри лаборатории кабель уложен в кабель – каналы 16х40 и 16х25. На рисунке 2.6 показан смонтированный кабель – канал для прокладки кабеля питающего лаборатории по курсу «Релейная защита и автоматика» и по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях».

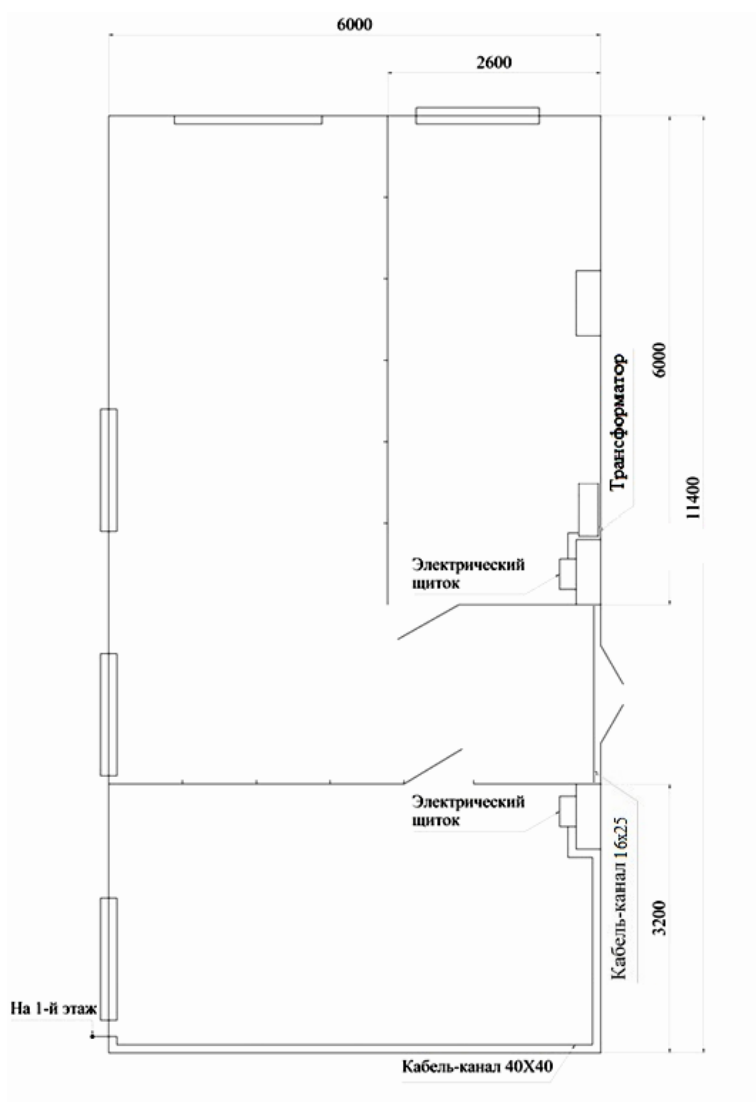


Рисунок 2.6 – План монтажа силового кабеля

На рисунке 2.7 показан смонтированный кабель – канал для прокладки кабеля, питающего лаборатории по курсу «Релейная защита и автоматика» и по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях».



Рисунок 2.7 – Кабель – канал 40x40 в лаборатории по курсу «Релейная защита»

На рисунках 2.8 и 2.9 показаны смонтированный кабель–канал 16x25 и распределительный щит в лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях».



Рисунок 2.8 – Кабель–канал 16x25 в лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

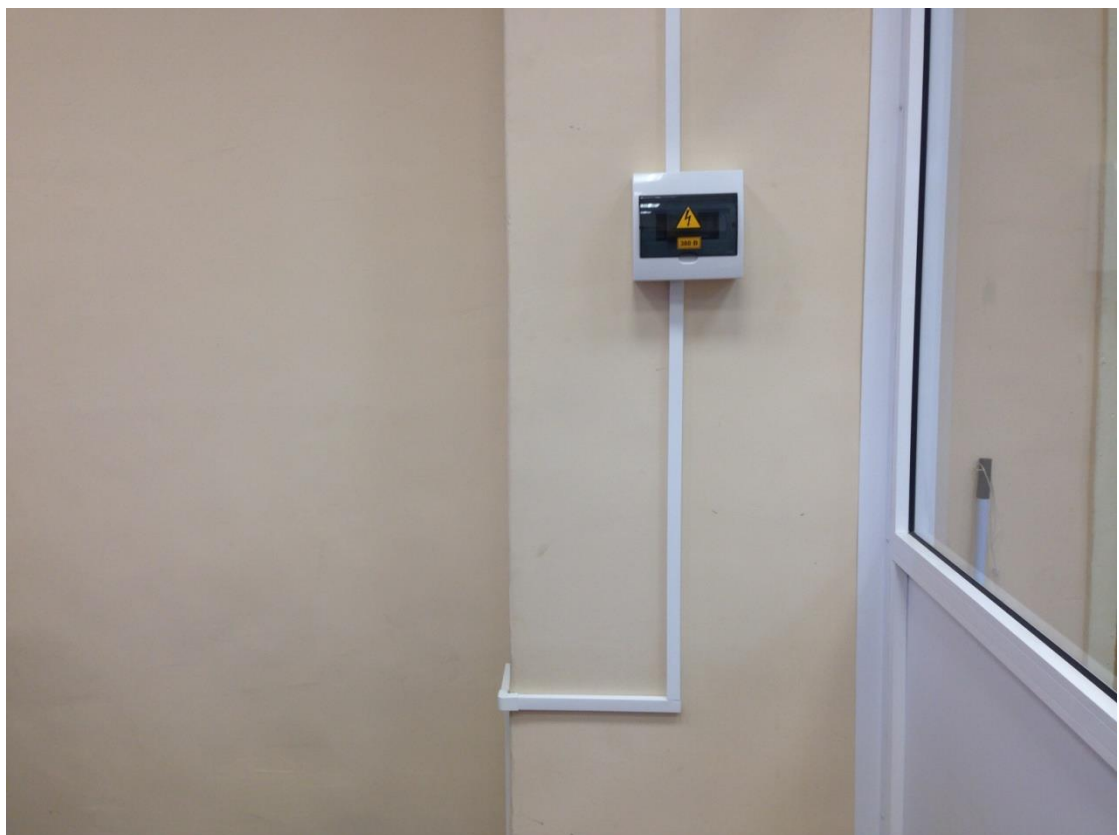


Рисунок 2.9 – Монтаж кабель–канала 16x25 и распределительного щита в лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

Ниже приведены расчеты электроосвещения, выбор уставок расцепителей автоматических выключателей и сечений кабельных линий, используемых в системе электроснабжения лаборатории.

2.5 Выбор коммутационных аппаратов по току нагрузки

Расчет электрических нагрузок сведем в таблицу 2.1

Таблица 2.1 – Расчет электрических нагрузок

Электроприемники	Кол-во	Номинальная мощность Р, кВт	Номинальная мощность общая Р, кВт	Коэффициент мощности трансформатора cosφ	Коэффициент реактивной мощности трансформатора tgφ
Стенд №2	1	0,25	0,25	0,7	1,02

Окончание таблицы 2.1

Электроприемники	Кол-во	Расчетная активная мощность, Р _р , кВт	Расчетная реактивная мощность Q _р , квар	Полная расчетная мощность S _р , кВА	Расчетный ток I _р , А
Стенд №2	1	0,25	0,26	0,36	7

При выборе уставок расцепителей учитываем, что номинальный ток расцепителя должен быть не менее расчетного тока линии.

Далее определяем сечения проводников. По условиям нагрева длительным расчетным током I_р допустимый ток в проводнике I_{пр} определяется из выражения:

$$I_p \leq I_{пр} = K_n \cdot I_{дл}, \text{ А} \quad (2.1)$$

где I_{дл} – табличное значение длительного допустимого тока в проводнике;
K_н – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки проводов и кабелей [1, табл. П4.4-П4.6 с. 207].

Согласно ПУЭ предельное допустимое соотношение между током срабатывания защитного аппарата I_{с.з} и длительно допустимым током по нагреву I_{пр} для проводников силовых и осветительных сетей имеет вид:

$$I_{пр} \geq k_3 \cdot I_{с.з} \quad (2.2)$$

где k₃ – коэффициент защиты [1, табл. 8.1 с.89].

Выбор низковольтного оборудования и проводников по нагреву оформлен в виде таблицы 2.2.

Таблица 2.2 – Выбор сечения кабелей по условиям нагрева

Электроприемник	I_p , А	Тип автоматического выключателя	Уставка расцепителя выключателя, А	Коэффициент защиты k_3	Расчетный ток $I_{пр} \geq k_3 \cdot I_{с.з}$ А
Стенд №2	7	ВА47-29 ЗР	10	1	10
Щит ЩРН-8	16	ВА 47-29 ЗР	16	1	16

Окончание таблицы 2.2

Характеристика условий прокладки	Поправочный коэффициент на условия прокладки, K_p	Расчетный ток $I_{пр} = K_p \cdot I_{дл}$, А	Допустимый ток при нормальных условиях, $I_{дл}$, А	Марка кабеля	Сечение и количество жил
в коробе +25°C, пучком 1 кабель	0,75	20	27	ПВС	5x2,5

На рисунке 2.10 приведена однолинейная схема электроснабжения лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях».

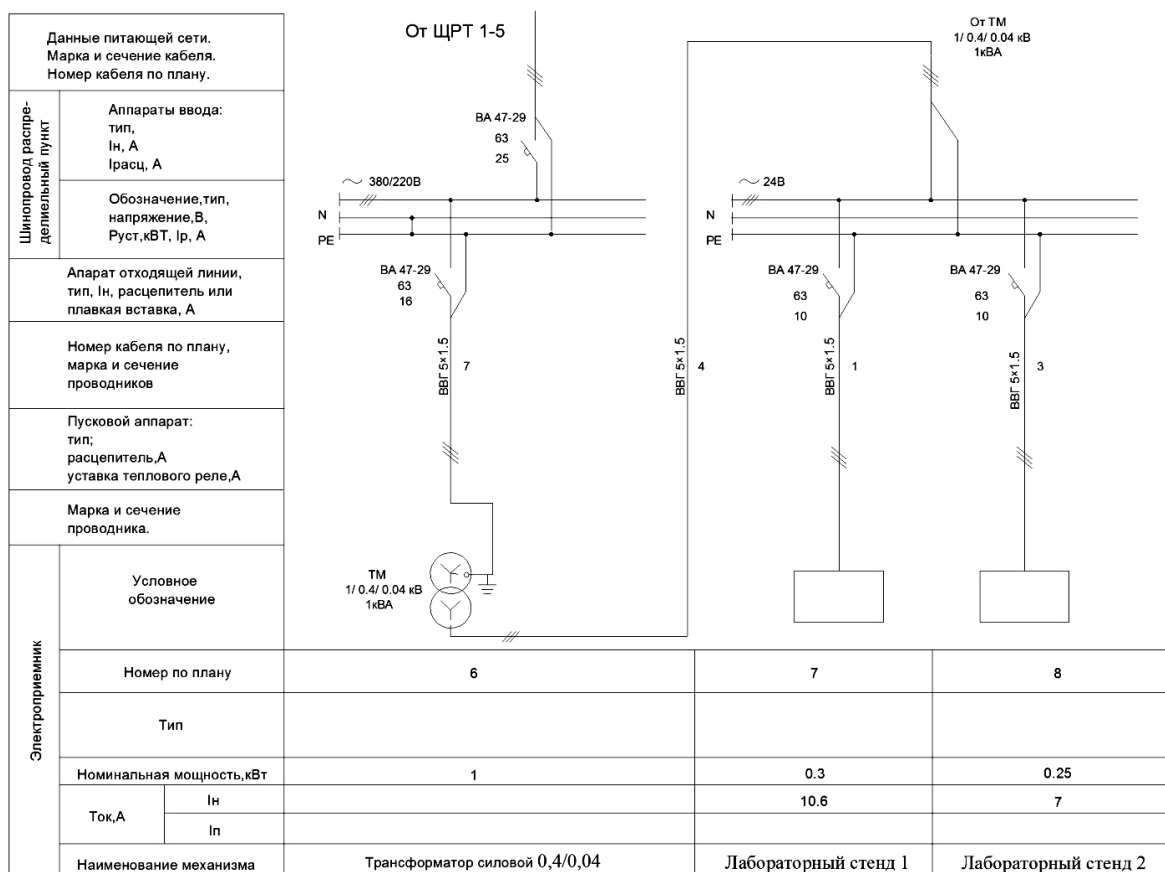


Рисунок 2.10 – Однолинейная схема электроснабжения лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

На рисунке 2.11 представлен внешний вид распределительного щита в лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях».



Рисунок 2.11 – Внешний вид распределительного щита в лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

2.7 Расчет и выбор освещения

Электроосвещение лаборатории выполнено светильниками с люминесцентными лампами типа ЛПО-46 4x18. Питание осветительной сети лаборатории выполнено кабелем ВВГ и осуществляется от действующей осветительной сети.

В лаборатории принята система из общего равномерного искусственного и естественного освещения. Норма освещенности E для лаборатории составляет 100 лк. Длина помещения составляет $A = 6$ м, ширина – $B = 2,6$ м.

Расчет общего равномерного освещения проводим методом коэффициента использования светового потока.

Составляем план расположения светильников рисунок 2.12.

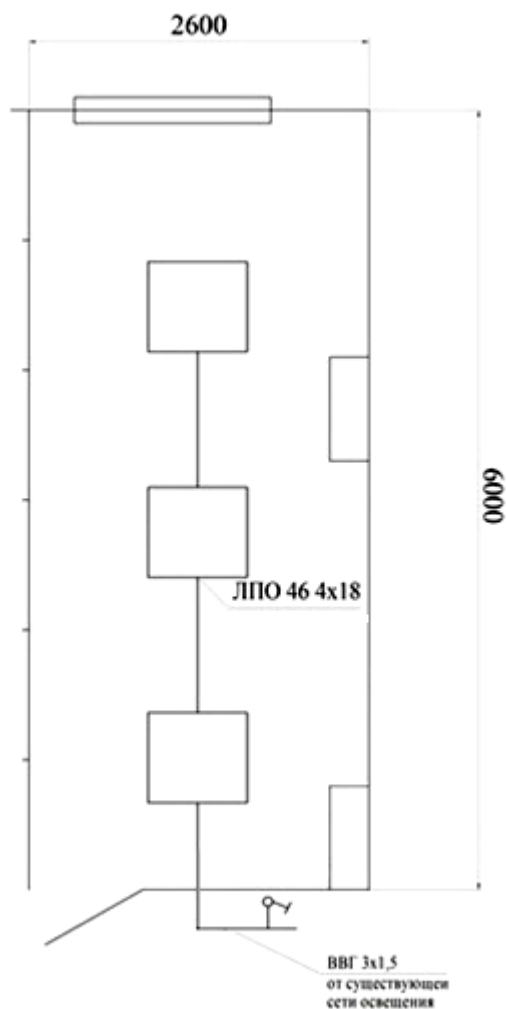


Рисунок 2.12 – План расположения светильников ЛПО46 4x18 в лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

Полное число светильников $n=3$, число рядов светильников $N_p = 1$, число светильников в ряду $N_a = 3$.

Расстояние между центрами светильников в ряду L_a :

$$L_a = A/N_a = 6/3 = 2 \text{ м} \quad (2.3)$$

Расстояние между рядами светильников L_b :

$$L_b = B/N_p = 2,6/1 = 2,6 \text{ м} \quad (2.4)$$

Высота подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_{pn} = 4 - 0,8 = 3,2 \text{ м} \quad (2.5)$$

где H – высота помещения, м;

h_{pn} – высота рабочей поверхности, м.

Определяем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{6 \cdot 2,6}{3,2 \cdot (6 + 2,6)} = 0,56 \quad (2.6)$$

где S – площадь помещения, м.

Определяем тип кривой силы света светильника:

Тип кривой силы света - Д [11, табл.5.28 с.127].

Определяем коэффициент использования светового потока:

$K_u = 0,45$ [11, табл.6.4 с.141]

Определяем коэффициент запаса $K_3 = 1,5$ [10, табл.3.4 с.42]

Рассчитываем необходимый световой поток светильников:

$$F = \frac{EK_3Sz}{nK_u} = \frac{100 \cdot 1,5 \cdot 15,6 \cdot 1,15}{3 \cdot 0,45} = 1993 \text{ лм} \quad (2.7)$$

где $z = 1,15$ – коэффициент неравномерности освещенности для люминесцентных ламп.

По найденному потоку светильника определяем световой поток одной лампы равный 664 лм и подбираем стандартную лампу ЛД-18 с $F_{\text{л}} = 880$ лм.

2.8 Расположение оборудования в лаборатории

Схема расположения оборудования в лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» приведена на рисунке 2.13.

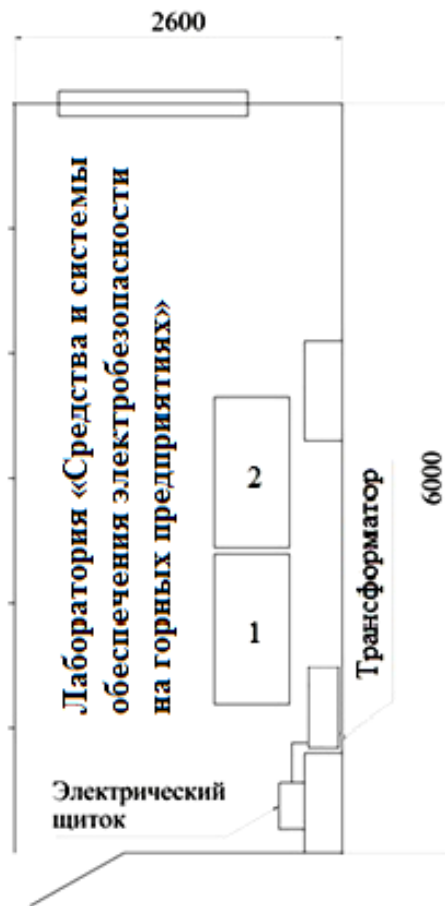


Рисунок 2.13 – Расположение оборудования в лаборатории

В лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях», показанной на рисунке 2.13, расположены стенды:

- 1) Стенд «Исследование эффективности защитного заземления и зануления в трехфазных сетях»
- 2) Стенд «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

На рисунке 2.14 представлены готовые стенды для выполнения лабораторных работ.

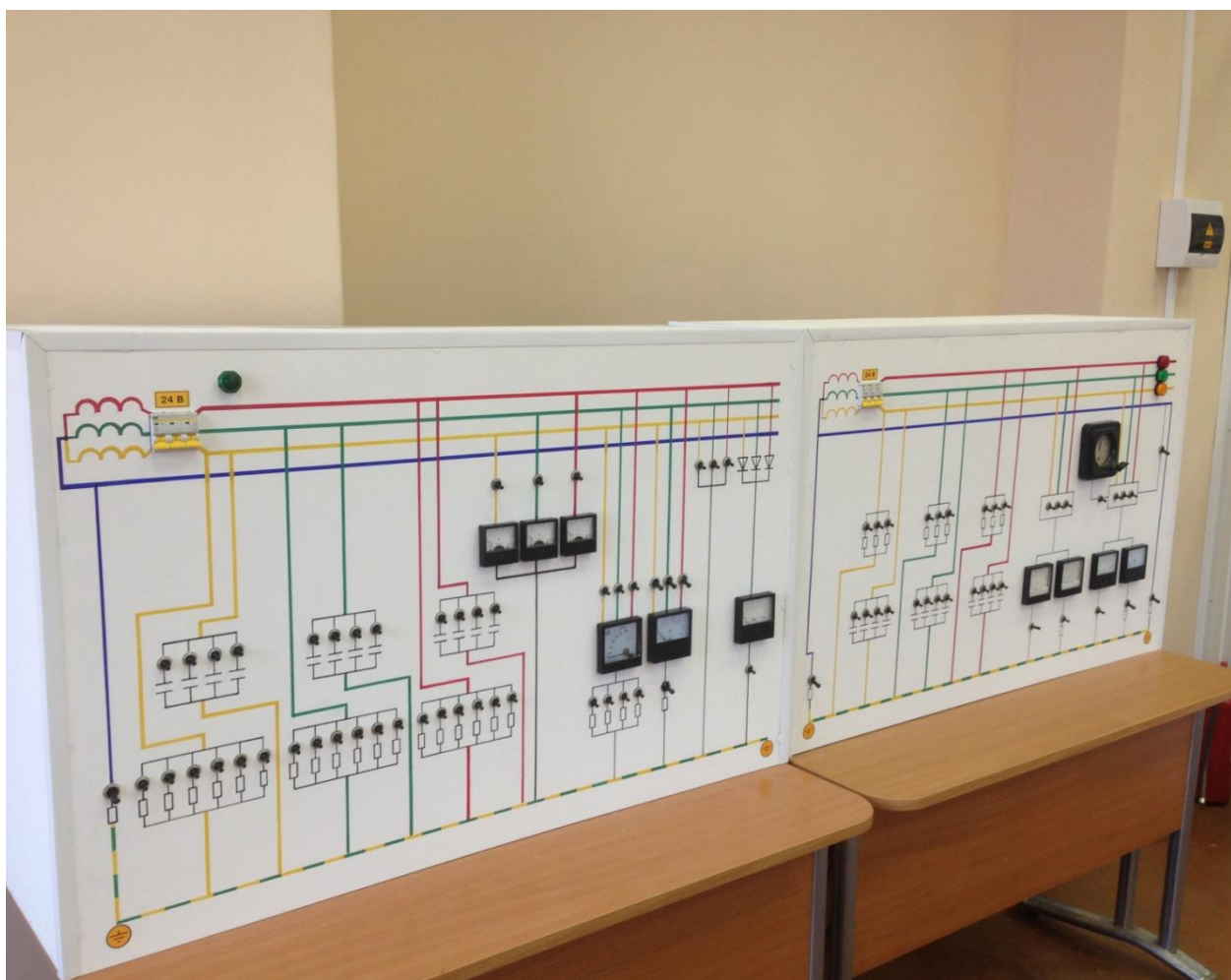


Рисунок 2.14 – Готовые стенды для выполнения лабораторных работ

На рисунке 2.15 представлен общий вид лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях» в аудитории №309а.



Рисунок 2.15 – Общий вид готовой лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях»

Стенды выполнены в одном стиле, что улучшает внешний вид лаборатории, способствует лучшему восприятию информации. Белый цвет лицевой панели стендов визуально облегчает считывание информации с приборов, оборудования и сигнальных ламп. Так же на стенде присутствуют цветные обозначения каждой фазы, что позволяет легче выполнять работу.

Размеры и оснащённость лаборатории позволяют одновременно выполнять различные лабораторные работы группе студентов от 5 до 10 человек.

Лаборатория в аудитории №309а, по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях», отвечает современным стандартам, предъявляемым к качеству, надежности и безопасности оборудования используемого в процессе подготовки и обучения студентов.

2.9 Проектирование и расчет силового трансформатора

Для проектирования лабораторного стенда, нам понадобился трехфазный трансформатор. Так как нам не удалось подобрать готовый трансформатор с нужными обмотками мы изготовили трансформатор самостоятельно. Мы имели 3 однофазных трансформатора с номинальным напряжением первичной обмотки равной (220В).

Трансформатор будет иметь выходные данные в 24В. Нами была смоде-

лирована схема стенда в программе Multisim, максимальный ток который потребляет наша установка, составил 8А. Зная напряжение и наибольший ток, который должна давать вторичная обмотка (U_2 и I_2), находим мощность вторичной цепи:

$$P_2 = U_2 \times I_2 = 24 \times 8 = 192 \text{ ВА} \quad (2.8)$$

Далее, принимаем КПД трансформатора небольшой мощности, равным около 80 %, определяем первичную мощность:

$$P_1 = \frac{P_2}{0.8} = \frac{192}{0.8} = 240 \text{ ВА} \quad (2.9)$$

Мощность передается из первичной обмотки во вторичную через магнитный поток в сердечнике. Поэтому от значения мощности P_1 зависит площадь поперечного сечения сердечника S , которая возрастает при увеличении мощности. Для сердечника из нормальной трансформаторной стали рассчитываем S по формуле:

$$S = \sqrt{P_1} = \sqrt{240} = 15,49 \text{ см}^2 \quad (2.10)$$

где s – в квадратных сантиметрах, а P_1 – в ваттах.

По значению S определяем число витков w' на один вольт. При использовании трансформаторной стали:

$$W' = \frac{50}{S} = \frac{50}{15,49} = 3,23 \quad (2.11)$$

Далее рассчитываем число витков обмоток:

$$W_2 = U_2 \times W' = 24 \times 3,23 = 77 \quad (2.12)$$

Для нашего трансформатора мы выбрали провод «ПБД – 1,56». Учитывая перегрев обмотки при токах в опыте с коротким замыканием, укладываем нашу обмотку в два слоя.

Чтобы обеспечить безопасность ведения лабораторных работ, трансформатор помещен в металлический корпус, с решеткой по бокам для лучшего охлаждения.

Внешний вид трансформаторов в спроектированном корпусе и общий вид представлен на рисунках 2.16 и 2.17.



Рисунок 2.16 – Внешний вид корпуса для трансформаторов

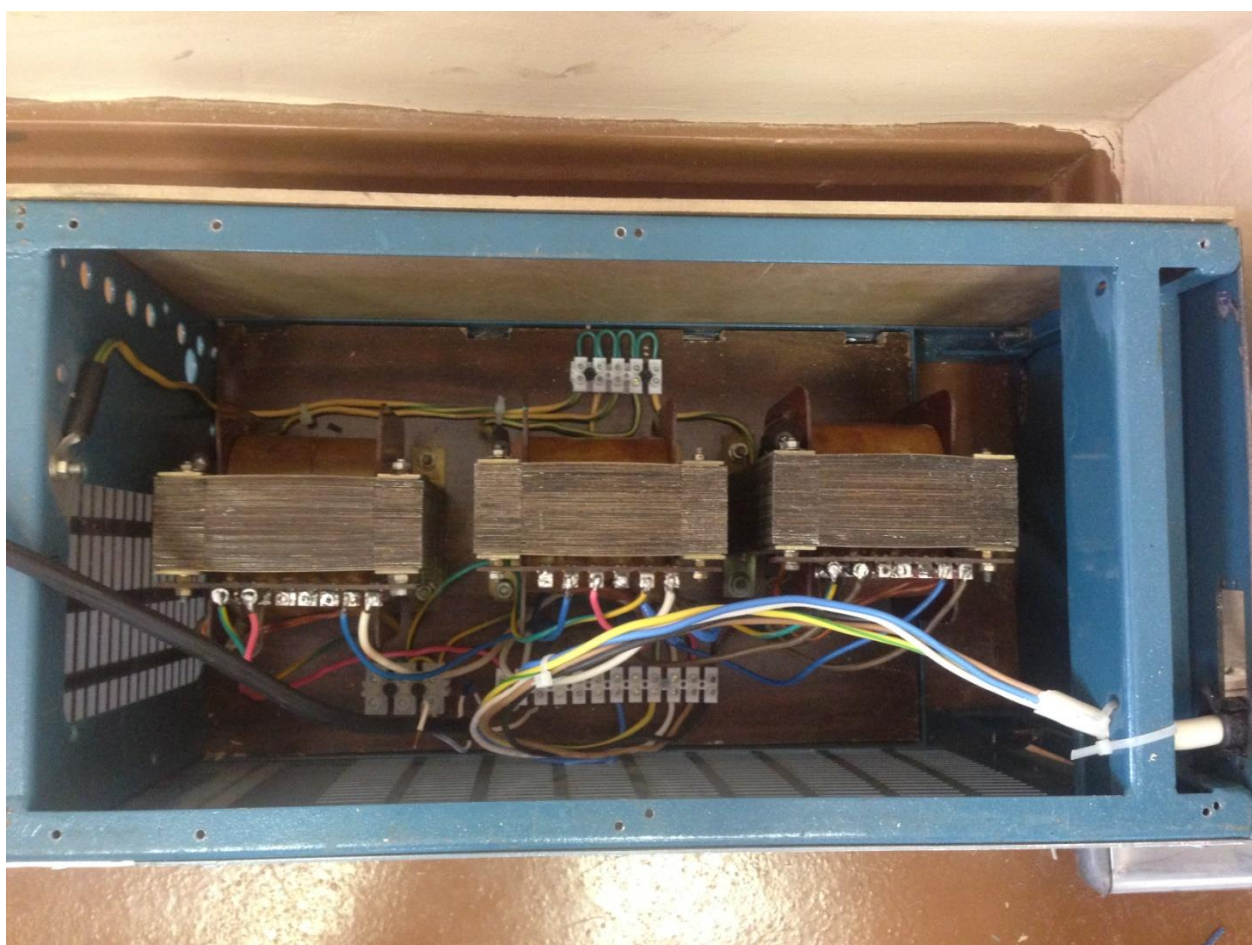


Рисунок 2.17 – Внешний вид внутри корпуса

3. Разработка методического обеспечения «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В»

3.1 Описание конструкции стенда

Стенд «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

Рабочее место – СФУ, Институт горного дела, геологии и геотехнологии, учебный корпус, кафедра ЭГМП, аудитория №309а.

Внешний вид лицевой панели стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках» показан на рисунке 3.1.

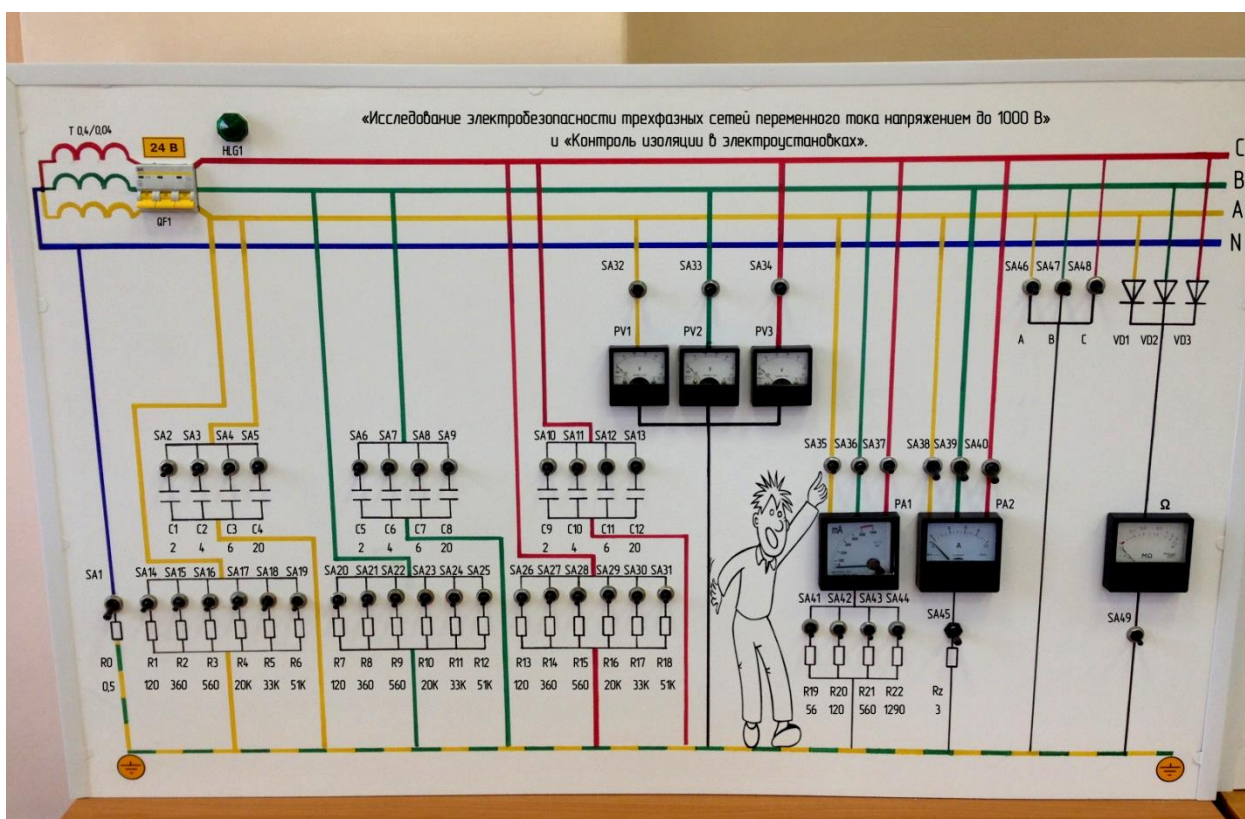


Рисунок 3.1 – Лицевая панель стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

На рисунке 3.2 показан внешний вид обратной стороны панели стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

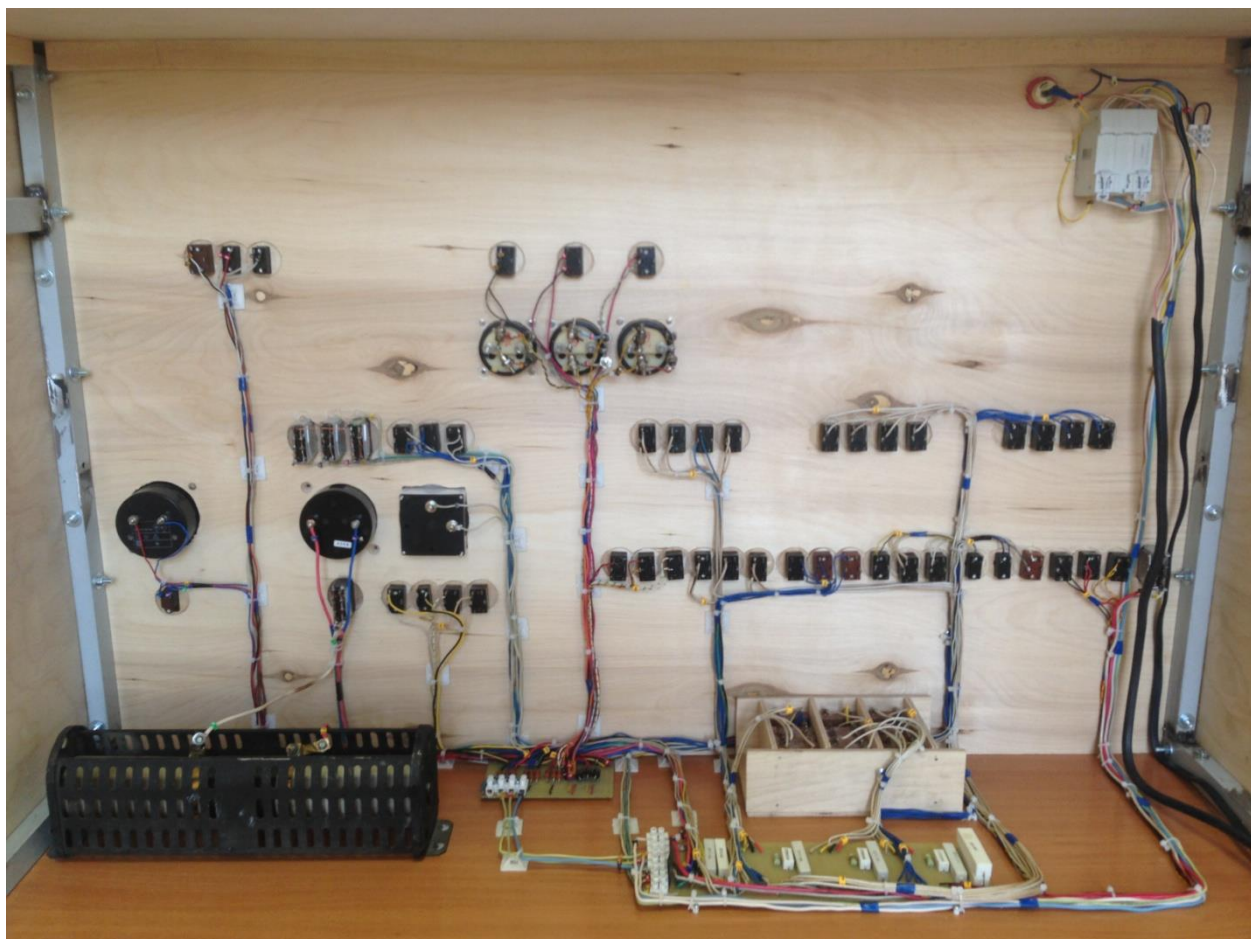


Рисунок 3.2 – Внешний вид обратной стороны панели стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

На рисунке слева в железном корпусе представлена нагрузка, которая собрана из блока сопротивлений. При помощи цифрового мультиметра было определено, какое количество проволоки необходимо, чтобы получить нужное сопротивление в 3 Ом. Контакт с подводящими проводами выполнен из болтовых зажимов, которые зажимают проволоку между двумя шайбами.

Полученная сборка помещена в металлический корпус ради соображения безопасности.

Для сбора всех элементов схемы, учитывая размеры наших резисторов нами была изготовлена печатная плата.

Плата была нарисована в программе Paint. Общий вид печатной платы представлена на рисунке 3.3.

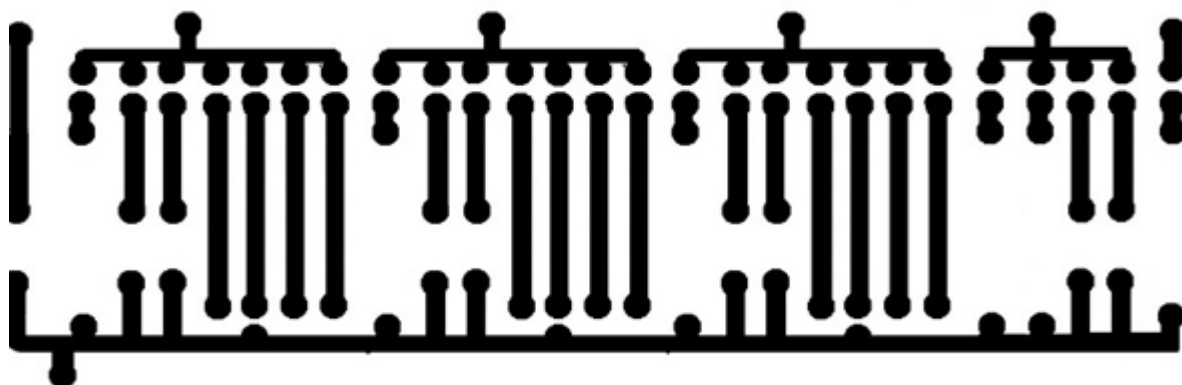


Рисунок 3.3 – Общий вид печатной платы

3.2 Монтажная схема и основные неполадки

В процессе эксплуатации стенда, могут возникать различные неисправности. Для облегчения устранения неполадок в работоспособности стендов ниже рассмотрим схемы коммутации основного оборудования и перечислим основные неисправности, которые могут возникнуть в результате работы.

В приложении представлена таблица спецификации для используемого оборудования, указанного на монтажной схеме лабораторного стенда.

На рисунке 3.4 изображена монтажная схема стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

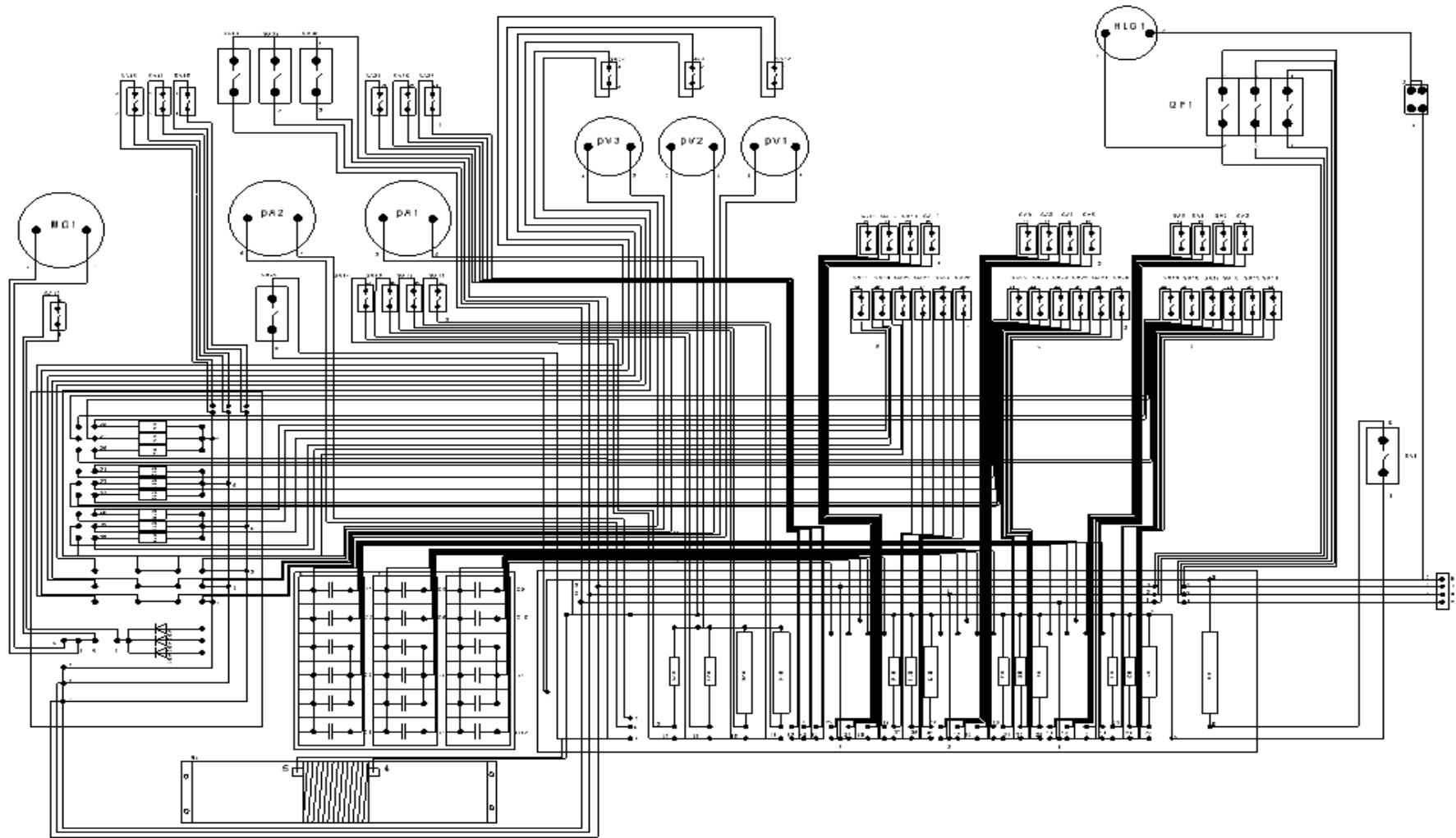


Рисунок 3.4 – Монтажная схема стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

Таблица 3.1 – Основные неполадки

Наименование неполадки	Способы устранения
Не горит лампа индикации	Проверить, включен ли вводной автомат в аудитории 309а. Проверить, включен ли вводной на стенде. Проверить наличие напряжения на лампе, заменить лампу
Произошел разрыв цепи	Согласно монтажной схеме устранить разрыв цепи
Неисправность основного электрооборудования	Проверить наличие питания на клеммах оборудования, заменить
Не работает тумблер	Проверить исправность тумблера

Общий вид стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках» показан на рисунке 3.5.

Стенд изготовлен из современных экологически чистых материалов. Стенд представляет собой короб, установленный на учебной парте. Короб имеет размеры 1200x750x280. Лицевая панель стенда выполнена из ЛДСП. Общие габаритные размеры стенда 1200x600x1600.

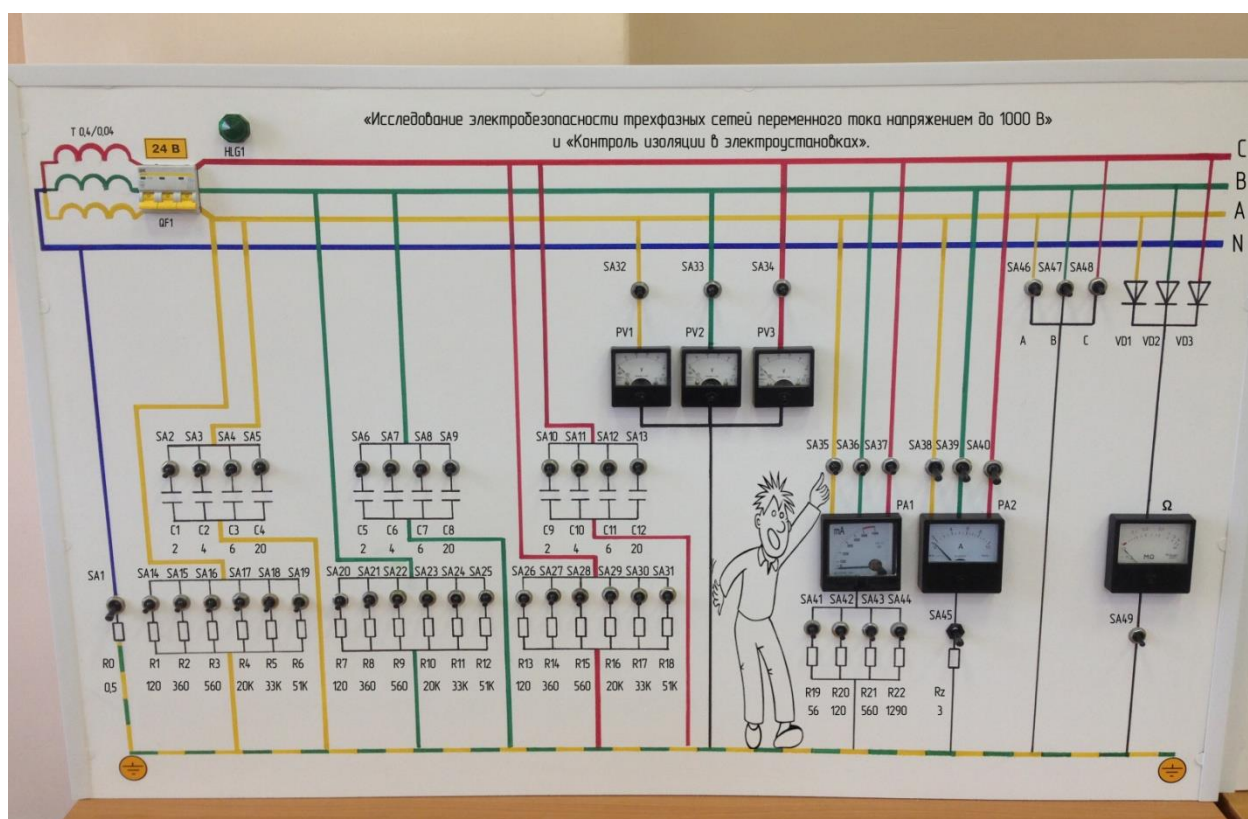


Рисунок 3.5 – Общий вид стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

На лицевой панели управления стендов «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000

В» и «Контроль изоляции в электроустановках» расположены:

- 1) Автоматический выключатель QF1
- 2) Тумблер2П (SA1-SA49).
- 3) Лампа сигнализации (HLG1).
- 4) Вольтметр (pV1-pV3).
- 5) Амперметр (pA1-pA2).
- 6) Мегомметр ПУ-Ф4106.

Доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стенов из изоляционного материала. Все токоведущие части стенов выполнены в двойной изоляции.

Помещение, в котором установлены стеноды, имеет окрашенные в светло-бежевый цвет стеноы. Пол – деревянный, покрытый листами ДВП и окрашен светло – коричневой краской, способ уборки – влажный.

Система отопления – централизованное, вид теплоносителя – горячая вода до 85⁰С.

Помещение, в котором установлены стеноды имеет температуру окружающего воздуха +25⁰С, при относительной влажности 45%. Вентиляция помещения – естественная. С помощью окон обеспечивается кратность воздухообмена при скорости движения воздуха до 0,5 м/с согласно ГОСТ 30494.

Электроснабжение: стеноды подключены к сети переменного тока напряжением 24 В. На входе питания установлен автоматический выключатель, который выполняет функции выключателя и защиты при коротких замыканиях и перегрузках. Питание стенов выполнено путем подключения гибкого кабеля с двойной изоляцией.

Электробезопасность: эксплуатационному и ремонтному персоналу запрещается производить ремонтные работы стенов, без отключения вводного автоматического выключателя на стеноде, и в распределительном электрошите аудитории №309а.

3.3 Создание методического обеспечения и указания для выполнения работы

1. Цель работы

1.1. Оценить опасность прямого прикосновения человека к фазным проводам электрических сетей напряжением до 1000 В;

1.2. Определить влияние активного сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли на опасность поражения человека электрическим током при нормальном и аварийном режимах работы сети с изолированной и глухозаземленной нейтралью;

1.3. Оценить опасность при двухфазном прикосновении человека к электрической сети.

2. Теоретическая часть

Действие электрического тока на организм человека. Опасность электрического тока усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение электрического тока дистанционно. Опасность обнаруживается слишком поздно, когда человек уже поражен. Условием поражения человека электрическим током является его прикосновение к двум точкам электрической цепи с разными потенциалами.

Электротравма – травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

Электрический удар – электротравма, проявляющаяся в возбуждении живых тканей организма протекающим через него электрическим током. При этом наступают судороги мышц или других тканей, шок, паралич дыхания, нарушение деятельности сердца и кровообращения. Опасность поражения человека определяется величиной тока, проходящего через тело человека. В зависимости от реакции организма на ток можно выделить следующие его значения.

Пороговый осязаемый ток – наименьшее значение электрического тока, вызывающего, при прохождении через организм осязаемые раздражения. Для тока промышленной частоты ($f = 50$ Гц) значение порогового осязаемого тока составляет $0,5 - 1,5$ мА.

Пороговый неотпускающий ток – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник. Человек при этом не может самостоятельно освободиться от проводника. Величина этого тока составляет $10 - 15$ мА при $f = 50$ Гц.

Пороговый фибрилляционный ток – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через органы человека фибрилляцию сердца. Кровообращение останавливается. Сердце человека самостоятельно выйти из этого состояния не может, через несколько минут наступает смерть. Величина этого тока составляет $50 - 8$ мА при $f = 50$ Гц.

Переменный ток 100 мА считается смертельным.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока зависит от различных факторов:

– От сопротивления тела человека;

Электрическое сопротивление человека складывается из сопротивления кожи и внутренних органов. Кожа обладает большим сопротивлением и определяет общее сопротивление человека. При сухой и неповрежденной коже сопротивление тела человека составляет $2000 - 2000000$ Ом. При увлажненной, загрязненной и поврежденной коже сопротивление тела сокращается до $300 - 500$ Ом, т.е. до сопротивления внутренних органов. В расчетах по электробезопасности сопротивление человека принимается равным 1000 Ом.

– От величины напряжения, действующего на человека;

С повышением напряжения, приложенного к телу человека, возможен пробой рогового слоя кожи (при $U > 50$ В), что приводит к уменьшению сопротивления человека.

– От рода и частоты тока;

Постоянный ток безопаснее, чем переменный ток промышленной частоты примерно в 4 – 5 раз. Это справедливо до напряжения 500 В, свыше 500 В постоянный ток становится опаснее. Максимальную опасность переменный ток оказывает при частоте 60 Гц. С последующим увеличением частоты тока до 1000 Гц и более опасность поражения человека резко увеличивается.

– От продолжительности воздействия электрического тока;

При увеличении продолжительности воздействия электрического тока сопротивление тела человека падает вследствие усиления кровообращения участков кожи под электродами и потовыделения. При этом ток может возрасти до значения, способного вызвать остановку сердца. Допустимое время воздействия при напряжении 220 В составляет 0,2 с.

– От условий внешней среды;

Параметры микроклимата в производственных помещениях влияют на сопротивление тела человека. Увеличение температуры, влажности, снижение подвижности воздуха приводят к росту опасности поражения, так как влаговыделение снижает сопротивление кожных покровов.

– От индивидуальных свойств человека;

Физически здоровые люди легче переносят электрические удары, чем больные и слабые. Повышенной восприимчивостью к воздействию электрического тока обладают лица, страдающие сердечно – сосудистыми, кожными, нервными и легочными заболеваниями.

2.2. Анализ опасности поражения током в электрических сетях

Степень опасности прикосновения человека к открытым незаизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением, зависит от вида прикосновения, вида электрической сети, режима работы сети (нормальный или аварийный).

Прикосновение может быть:

- однофазным, когда человек касается одной фазы электросети;
- двухфазным, когда человек касается двух фаз электросети.

Согласно ПУЭ (Правил устройства электроустановок) при напряжении до 1000 В применяют следующие виды электрических трехфазных сетей:

- трехпроводная с изолированной нейтралью (рисунок 1а);
- четырехпроводная с глухозаземленной нейтралью (рисунок 1б).

Изолированной называется нейтраль генератора или трансформатора, не присоединенная к заземляющему устройству.

Глухозаземленной называется нейтраль генератора или трансформатора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление r_0 .

При нормальном режиме работа трехфазной сети с любым режимом нейтрали потенциал нулевой точки равен нулю. Между нулевой точкой (нейтралью – N) и любым фазным проводом (A, B, C) действует фазное напряжение U_{ϕ} . Так как нулевой проводник O в системе с глухозаземленной нейтралью непосредственно соединен с нейтралью, то между ним и любой фазой также действует фазное напряжений. Между фазными проводами действует линейное напряжение $U_{л}$.

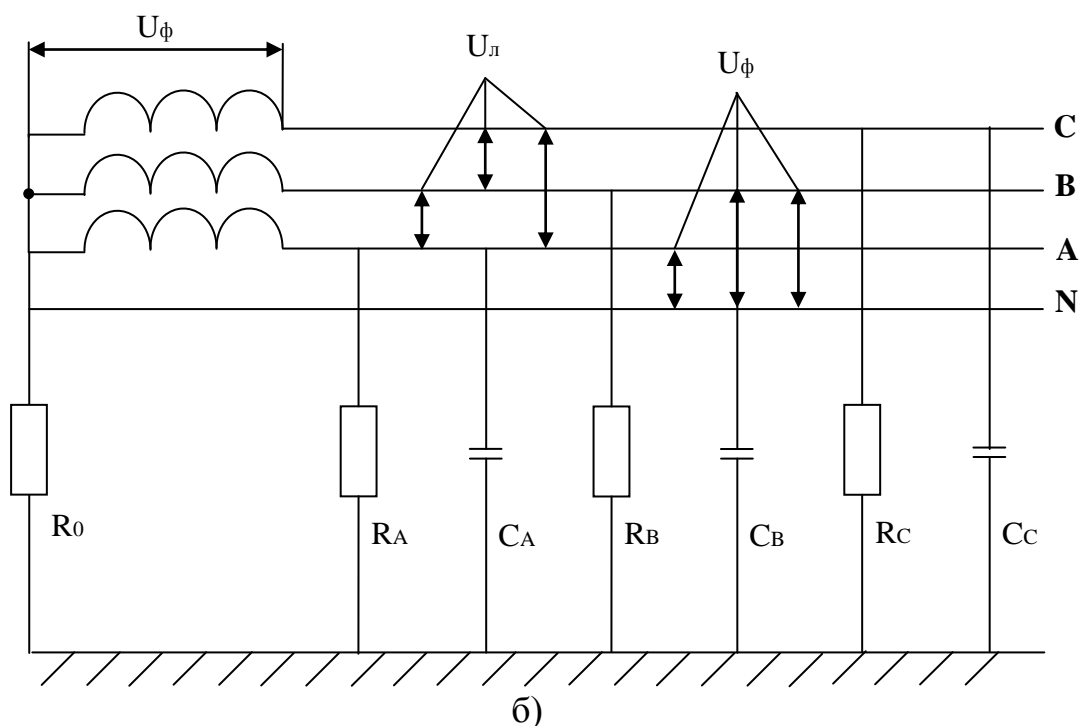
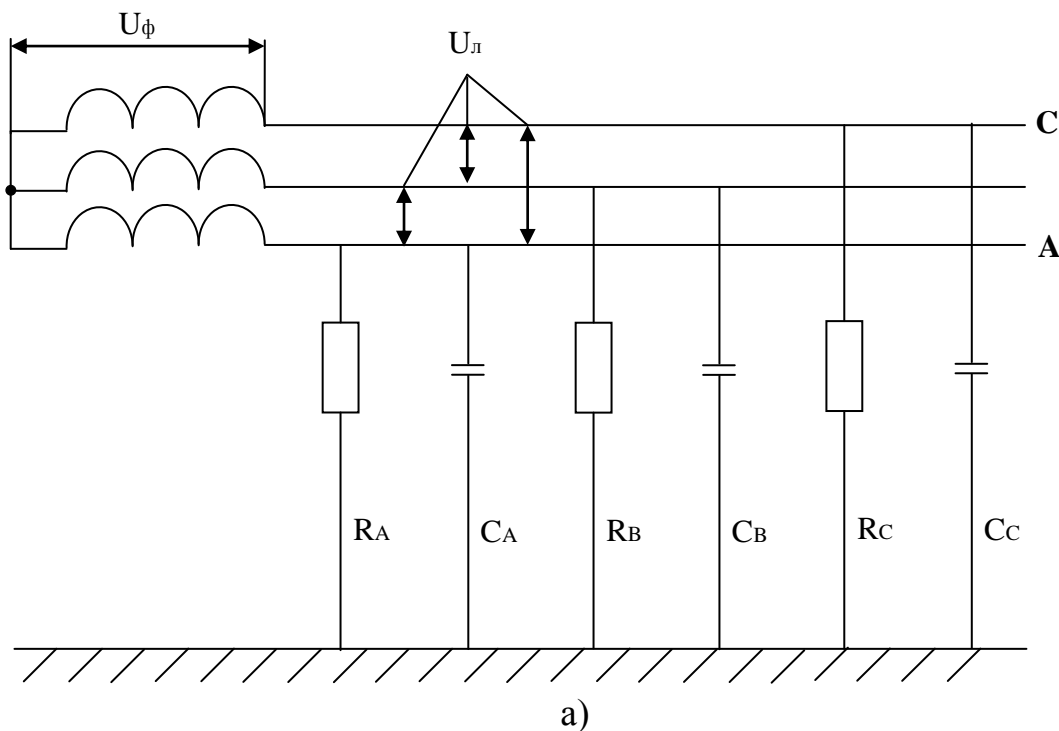


Рисунок 1 – Виды электрических трехфазных сетей: а – трехпроводная с

изолированной нейтралью; б – четырех проводная с глухозаземленной нейтралью; А, В, С – фазные проводники; N – нулевой рабочий проводник; О – нейтраль; U_{ϕ} – фазное напряжение; $U_{л}$ – линейное напряжение; R_A, R_B, R_C – активное сопротивление изоляции фазных проводников (согласно ПУЭ не менее 0,5 МОм); C_A, C_B, C_C – емкости фаз относительно земли; r_0 – сопротивление заземления нейтрали (согласно ПУЭ 4 Ом).

Наибольшее распространение получили трехфазные сети, у которых линейное напряжение $U_{л}=380$ В, фазное $U_{\phi}=220$ В, а между линейным и фазным напряжениями существует зависимость $U_{л}=U_{\phi}\sqrt{3}$.

Идеальной изоляции, т.е. такой, у которой сопротивление относительно земли бесконечно велико, в практике не существует. Поэтому на каждом участке длины провода изоляция имеет конечное активное сопротивление (R_A, R_B, R_C). Кроме того, каждый участок провода имеет емкость относительно земли (C_A, C_B, C_C).

Для сравнительной оценки опасности сетей ниже рассмотрены следующие сети с напряжением до 1000 В: трехфазные четырехпроводные с изолированной нейтралью и трехфазные четырехпроводные с глухозаземленной нейтралью при нормальном и аварийном режимах работы.

2.3 Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

В нормальном режиме работы при однофазном прикосновении (рисунок 2а) сила тока, проходящего через человека для случая симметричного сопротивления изоляция фаз, т.е. $R_A=R_B=R_C=R$ и $C_A=C_B=C_C=C$, определится выражением в комплексной форме:

$$I_h = \frac{U_{\phi}}{R_h + Z/3}, A$$

где R_h – сопротивление тела человека, Ом;

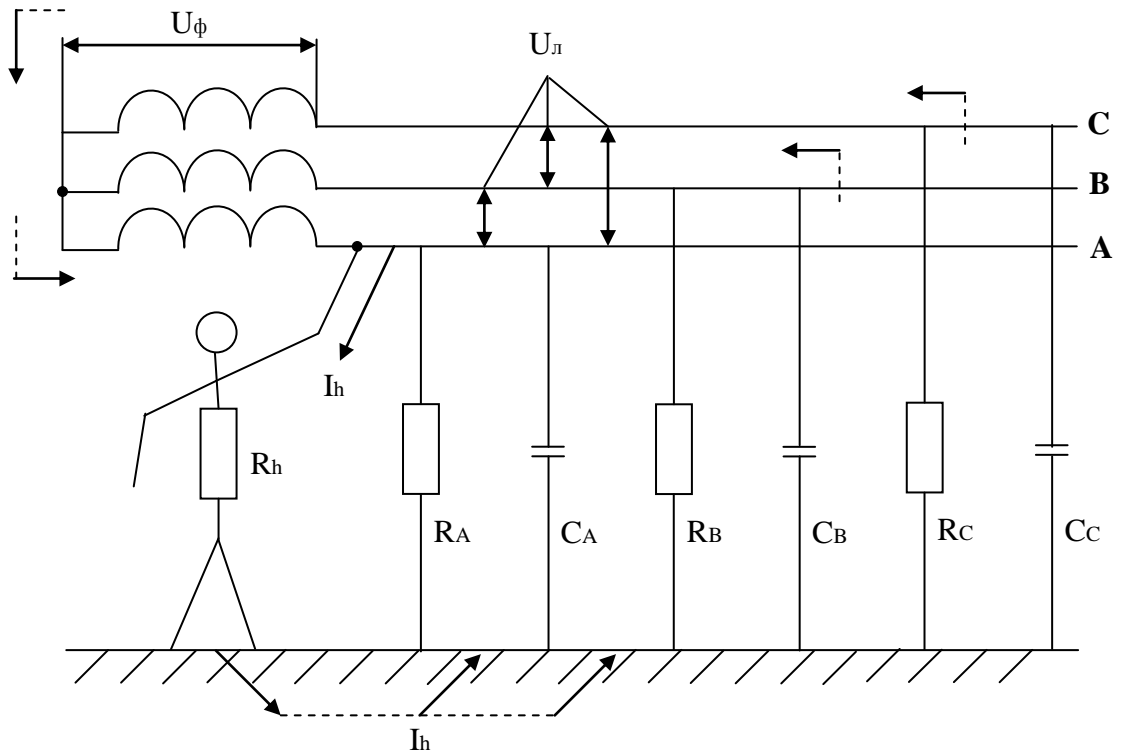
Z – полное сопротивление одной фазы относительно земли, Ом.

$$Z = \frac{R_{из}}{(1 + j\omega CR_{из})}$$

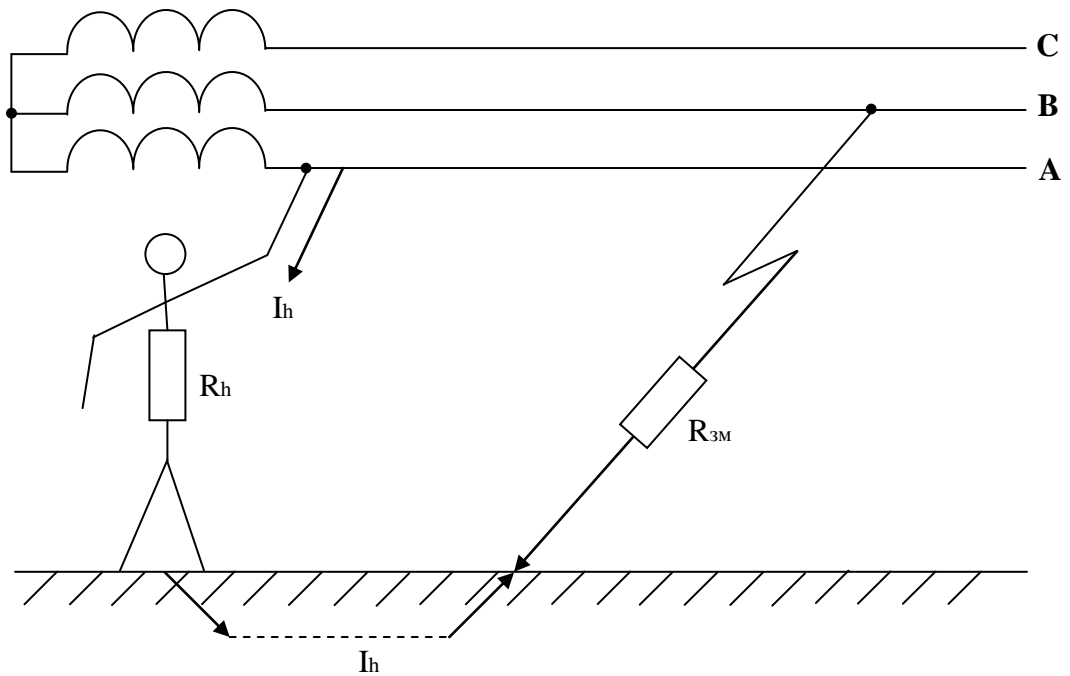
где $R_{из}$ – активное сопротивление изоляции, Ом;

ω – угловая частота, c^{-1} ;

C – емкость провода относительно земли, Ф.



а)



б)

Рисунок 2 – Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью: а – нормальный режим; б – аварийный режим

Для воздушных сетей малой протяженности емкость проводов относительно земли незначительна ($C \approx 0$), тогда сила тока, протекающего через человека, выразится зависимостью:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{из}/3}, A$$

При $U_\phi=220$ В, $R_h=1000$ Ом, $R_{из}=500\ 000$ Ом, сила тока через человека $I_h = 1,3$ мА, т.е. относительно не опасна (ощутимый ток).

При использовании кабельных линий емкости проводов относительно земли и сопротивления изоляции имеют очень большое значение ($C \neq 0$; $R_{из} \rightarrow \infty$), тогда сила тока, протекающего через человека:

$$I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + (X_c/3)^2}}, A$$

где $X_c = 1/C$ – емкостное сопротивление изоляции проводов, Ом.

Из рассмотренных выражений следует, что сила тока, проходящего через человека, зависит от активного сопротивления изоляции (характерно для воздушных сетей) и емкостного сопротивления изоляции проводов (характерно для кабельных сетей).

В аварийном режиме, когда одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление $r_{зм}$, человек, прикасаясь к другой фазе, оказывается включенным между двух фаз (рисунок 2б).

Величина тока, проходящего через человека:

$$I_h = \frac{U_\phi \sqrt{3}}{R_h + r_{зм}}, A$$

При $U_\phi=220$ В, $R_h=1000$ Ом, $r_{зм}=0,5$ величина тока через человека $I_h = 380$ мА, т.е. смертельна.

В аварийном режиме сила тока, проходящего через человека, резко возрастает, т.к. защитная роль сопротивлений изоляции сводится к нулю (т.к. $r_{зм} \ll R_{из}$). Следовательно, в аварийном режиме значительно увеличивается опасность поражения электрическим током.

2.4 Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

В нормальном режиме при однофазном прикосновении (рисунок 3а) напряжение прикосновения практически равно фазному ($U_{пр} \approx U_\phi$), поскольку сопротивление заземления нейтрали $r_o \ll R_h$. Сила тока, проходящего через че-

ловека, определится выражением:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0}, A$$

То есть сила тока через человека зависит только от сопротивления человека и не зависит от качества изоляции. При $U_\phi=220$ В, $R_h=1000$ Ом, $r_0=4$ Ом сила тока через человека $I_h \approx 220$ мА, т.е. смертельна.

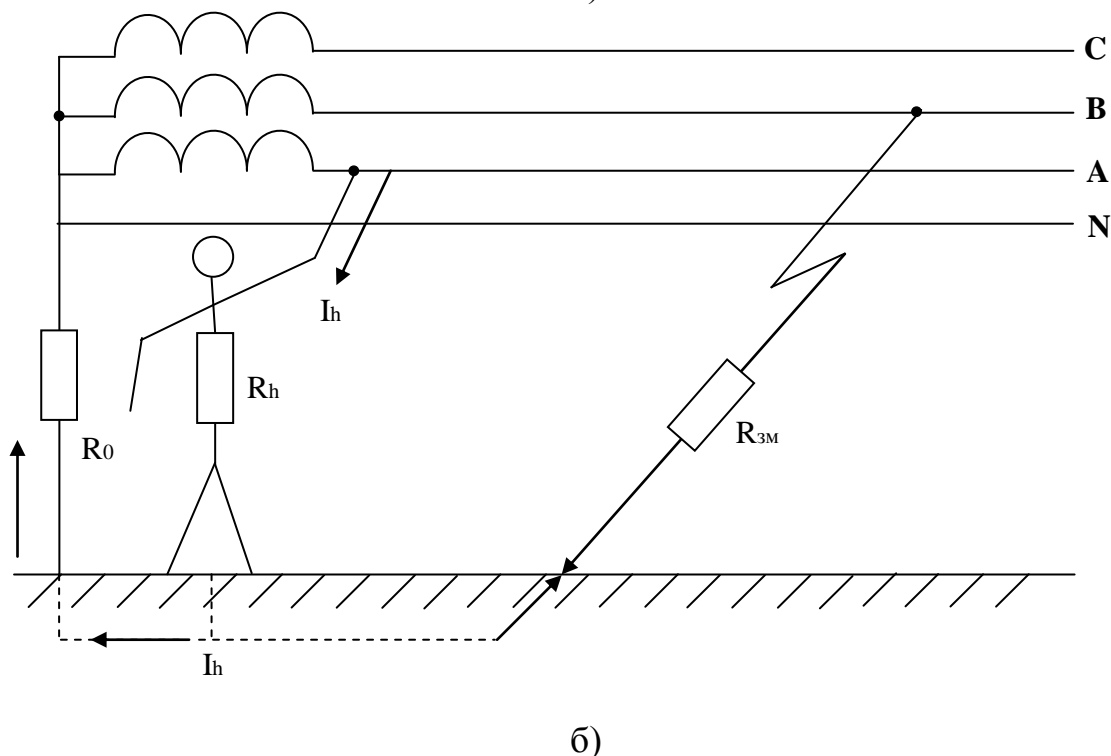
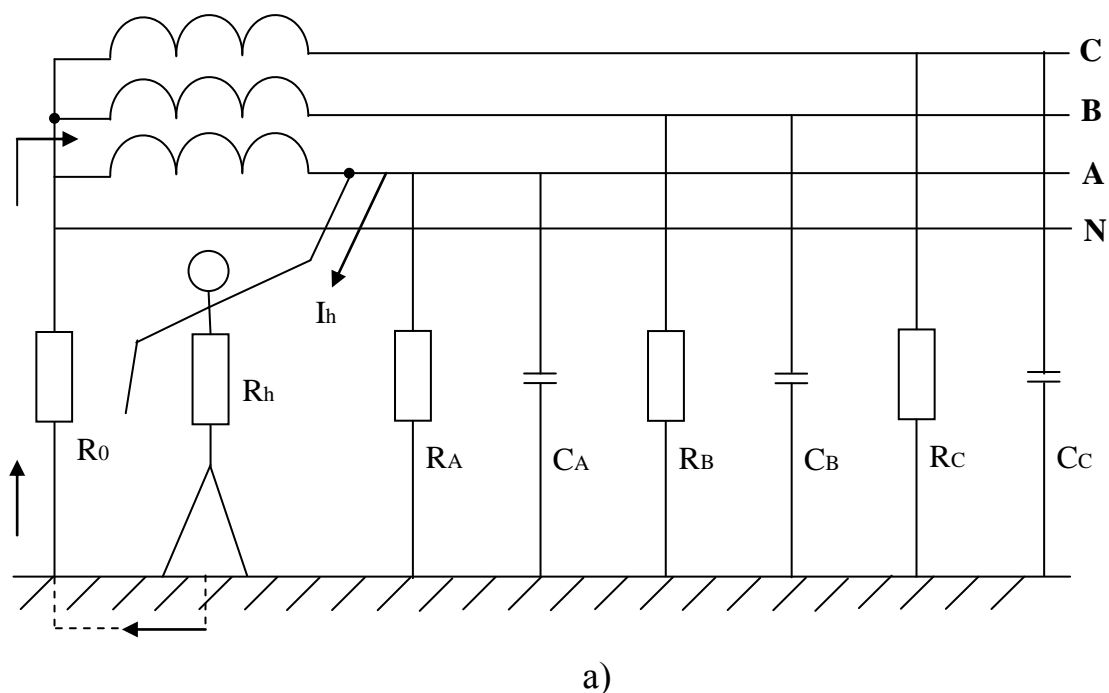


Рисунок 3 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью: а – нормальный режим; б –

аварийный режим

В аварийном режиме одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление $r_{зМ}$ (рисунок 3б).

Если сопротивление замыкания фазы на землю $r_{зМ} = 0$, то напряжение прикосновения $U_{пр} = \sqrt{3}U_{\phi} = U_{л}$. Если сопротивление заземления нейтрали $r_0 = 0$, то аварийная фаза окажется соединенной с нейтралью и напряжение прикосновения $U_{пр} = U_{\phi}$. Оба случая являются смертельными для человека. В действительности $r_{зМ} \neq 0$ и $r_0 \neq 0$, кроме того $r_{зМ} \gg r_0$, поэтому напряжение прикосновения, под которым окажется человек определяется зависимостью:

$$\sqrt{3}U_{\phi} \gg U_{пр} > U_{\phi}$$

Если величина $r_{зМ} \approx r_0$, то сила тока, проходящего через человека:

$$I_h = \frac{U_{\phi}(r_{зМ} + r_0\sqrt{3})}{r_{зМ}r_0 + R_h(Z_{зМ} + r_0)} = \frac{U_{\phi} \cdot 1,35}{R_h}, \text{ А}$$

Возрастание напряжения прикосновения и силы тока через человека повышает опасность сети с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме по сравнению с нормальным режимом работы.

2.5 Двухфазное прикосновение человека

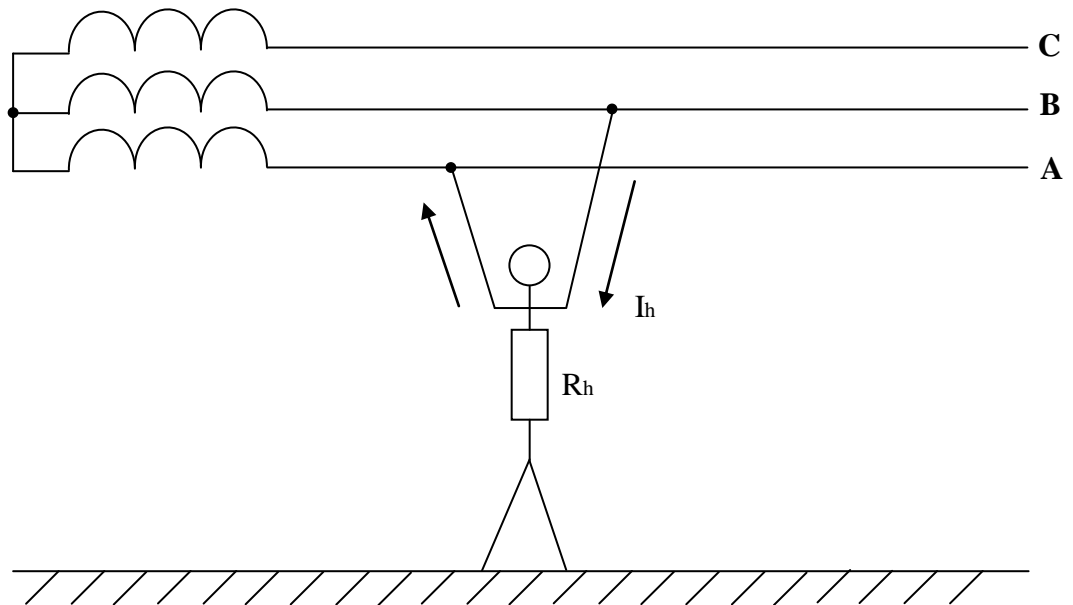


Рисунок 4 – Двухфазное прикосновение человека.

Сила тока через человека при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции, а определяется только линейным напряжением и сопротивлением человека:

$$I_h = \frac{U_{\text{л}}}{R_h}, \text{ A}$$

При $U_{\text{л}}=380 \text{ В}$, $R_h=1000 \text{ Ом}$ сила тока через человека $I_h=380 \text{ мА}$, т.е. смертельна.

2.6 Краткие выводы

Сравнительная оценка двух видов фазных сетей показывает следующее:

1. При однофазном прикосновении в период нормальной работы сети ток через человека определяется:
 - в сети с изолированной нейтралью – сопротивлением изоляции и емкостью фаз относительно земли;
 - в сети с глухозаземленной нейтралью – только сопротивлением человека.
2. Однофазное прикосновение к сети с изолированной нейтралью с малой емкостью и высоким сопротивлением изоляции безопаснее, чем прикосновение к сети с глухозаземленной нейтралью;
3. Однофазное прикосновение в период аварийной работы сети в сети с изолированной нейтралью опаснее, чем в сети с глухозаземленной нейтралью. Защитная роль изоляции сводится к нулю и резко возрастает ток через человека;
4. Опасность поражения при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции. Этот случай является наиболее опасным.

3. Описание лабораторной установки

Работа производится на стенде путем моделирования основных параметров исследуемых сетей и определения величины тока, проходящего через человека при его соприкосновении с токоведущими частями. Схема стенда показана на рис. 5. Вместо реально существующих распределенных сопротивлений изоляции и емкостей проводов относительно земли, на стенде предусмотрены сосредоточенные сопротивления и емкости, в целях безопасности при проведении лабораторных работ, стенд подключен к напряжению 24В. Все значения активных и емкостных сопротивлений подобраны таким образом, чтобы получились токи как при $U=220\text{В}$, только при безопасном напряжении. В результате на шкалах приборов получают абсолютно такие же значения как при $U=220\text{В}$, меняя величину которых, а также соотношение между ними, можно получить сеть с нужными параметрами. Тело человека имитируется в схеме стенда активным сопротивлением, которое может подключаться к каждому проводу сети тумблером. Измерение тока, проходящего через это сопротивление, производится с помощью миллиамперметра.

Активные и емкостные сопротивления сети эквивалентные $U=220\text{В}$ используемые в работе представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения активных и емкостных сопротивлений сети

R сети 24 В, Ом	R сети 220В, Ом	C сети 24В, мкФ	C сети 220В, мкФ
$R_{19}= 56$ Ом	513	$C_1=C_5=C_9=2$	18,33
$R_1=R_7=R_{13}= R_{20}= 120$	1100	$C_2=C_6=C_{10}=4$	36,66
$R_2=R_8=R_{14}= 360$	3300	$C_3=C_7=C_{11}=6$	55
$R_3=R_9=R_{15}= R_{21}= 560$	5133	$C_4=C_8=C_{12}=20$	183,33
$R_{22}= 1290$	11825		

Стенд (рисунок 5), на котором выполняется работа, позволяет моделировать трехфазные сети с изолированной нейтралью (тумблер SA₁ отключен) и глухозаземленной нейтралью (тумблер SA₁ включен).

Вместо реально существующих распределенных сопротивлений изоляции и емкости фаз на стенде предусмотрены сосредоточенные сопротивления изоляции R и емкости C, меняя которые можно получить сети с различными параметрами.

Тело человека имитируется активным сопротивлением R₁₉; R₂₀; R₂₁; R₂₂; (переключаются тумблерами SA₄₁; SA₄₂; SA₄₃; SA₄₄), тумблерами SA₃₅; SA₃₆; SA₃₇ меняем фазу прикосновения к сети. Ток через человека измеряется амперметром, pA1.

Стенд позволяет выполнить аварийный режим работы сети, включением тумблера SA₄₅, т.е. замыкание на землю одной фазы, выбранной с помощью тумблеров SA₃₈; SA₃₉; SA₄₀.

Положение тумблеров вверх - «включено», вниз – «выключено».

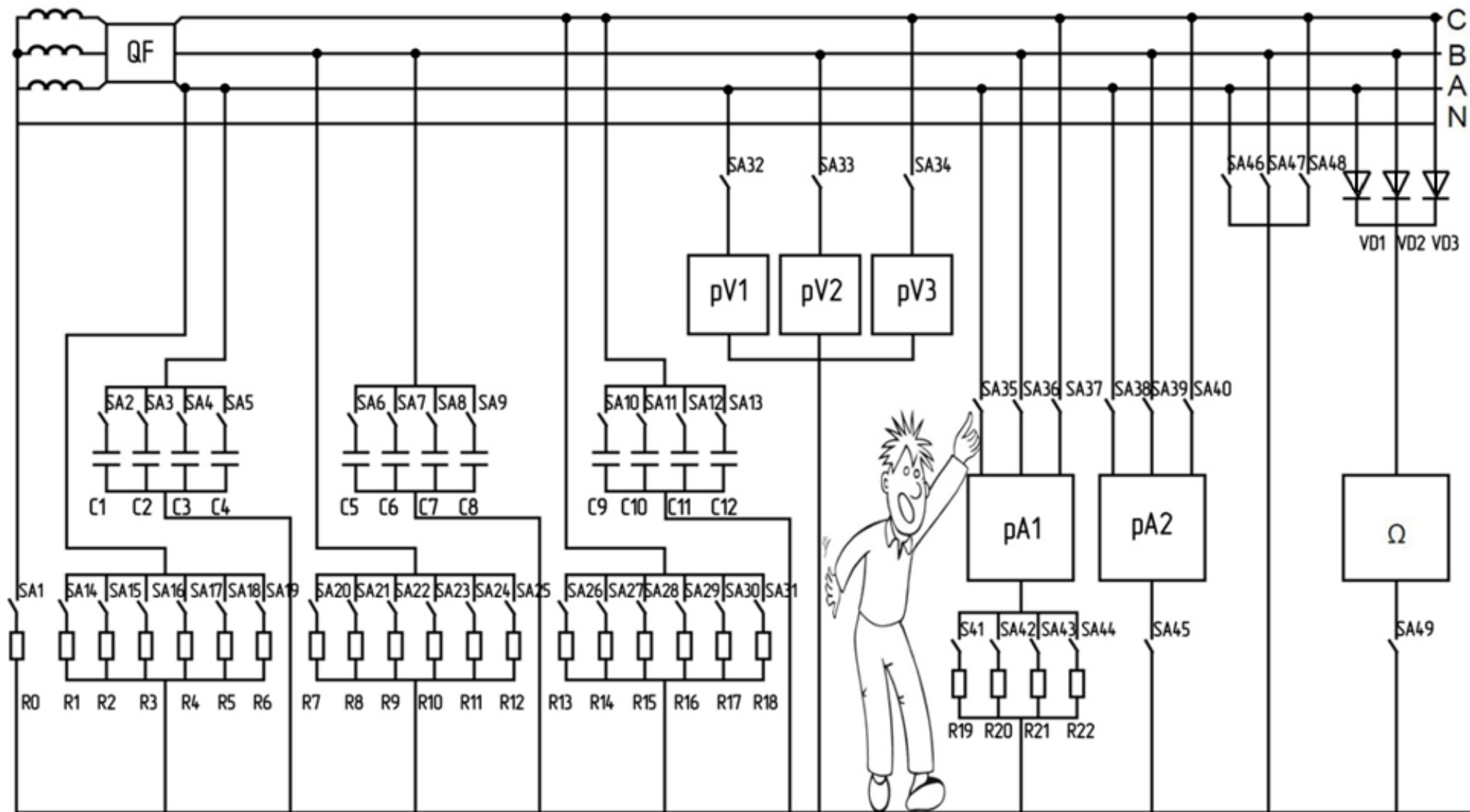


Рисунок 5 – Схема испытательного стенда

Таблица 2 – Основные величины элементов схемы.

Сопротивление изоляции фаз	Емкость фаз	Сопротивление тела человека (R_h)
$R_1=R_7=R_{13}= 120 \text{ Ом}$ $R_2=R_8=R_{14}= 360 \text{ Ом}$ $R_3=R_9=R_{15}= 560 \text{ Ом}$	$C_1=C_5=C_9=2 \text{ мкФ}$ $C_2=C_6=C_{10}=4 \text{ мкФ}$ $C_3=C_7=C_{11}=6 \text{ мкФ}$ $C_4=C_8=C_{12}=20 \text{ мкФ}$	$R_{19}= 56 \text{ Ом}$ $R_{20}= 120 \text{ Ом}$ $R_{21}= 560 \text{ Ом}$ $R_{22}= 1290 \text{ Ом}$

4. Техника безопасности

4.1. При выполнении данной лабораторной работы необходимо выполнять требования по технике безопасности, общие для лаборатории;

4.2. Внешним осмотром убедиться в исправности состояния испытательного стенда;

4.3. При наличии неисправности испытательный стенд отключить от сети и поставить в известность преподавателя.

5. Задание к работе

Таблица 3

Устанавливаемые величины	Варианты		
	1	2	3
$R_{1-3}=R_{7-9}=R_{13-15}, \text{ Ом}$ $C_{1-4}=C_{5-8}=C_{9-12}, \text{ мкФ}$ Человек касается фазы	120 2 А	560 2 В	120 2 С
$R_h, \text{ Ом}$ Человек касается фазы $C_{35}=C_{36}=C_{37}, \text{ мкФ}$	120 А 2	560 В 2	1290 С 2
$R_h, \text{ Ом}$ Человек касается фазы $R_{35}=R_{36}=R_{37}, \text{ Ом}$	120 А 120	560 В 560	1290 С 120
$R_{1-3}=R_{7-9}=R_{13-15}, \text{ Ом}$ $C_{1-4}=C_{5-8}=C_{9-12}, \text{ мкФ}$ $R_h, \text{ Ом}$ Человек касается фазы Аварийный режим фазы	120 2 120 А В	560 2 560 В С	120 4 120 С А

6. Порядок выполнения работы

6.1. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от сопротивления человека.

Включить стенд (загорается сигнальная лампа).

– включить заданные (таблица 2) активные сопротивления и емкости с помощью переключателей $R_{1-3}=R_{7-9}=R_{13-15}$ и $C_{1-4}=C_{5-8}=C_{9-12}$;

– тумблерами SA_{35} ; SA_{36} ; SA_{37} имитировать подключение человека к заданной фазе;

– меняя тумблерами SA_{41} ; SA_{42} ; SA_{43} ; SA_{44} сопротивление человека, записать силу тока для системы с изолированной и глухозаземленной нейтралью. Данные замеров занести в таблицу 4.

6.2. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от активного сопротивления изоляции фазных проводов:

– включить заданные емкости фаз $C_{1-4}=C_{5-8}=C_{9-12}$;

– включить заданное сопротивление человека тумблерами SA_{41} ; SA_{42} ; SA_{43} ; SA_{44} ;

– тумблерами SA_{35} ; SA_{36} ; SA_{37} имитировать подключение человека к заданной фазе;

– симметрично изменяя сопротивление изоляции фаз (с помощью переключателей $R_{1-3}=R_{7-9}=R_{13-15}$), записать силу тока через человека в системе с изолированной и глухозаземленной нейтралью. Данные замеров занести в таблицу 3.

6.3. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от емкости фазных проводов относительно земли – включить заданные активные сопротивления изоляции переключателями $R_{1-3}=R_{7-9}=R_{13-15}$;

– включить заданное сопротивление человека тумблерами SA_{41} ; SA_{42} ; SA_{43} ; SA_{44} ;

– тумблерами SA_{35} ; SA_{36} ; SA_{37} имитировать подключение человека к заданной фазе;

– симметрично изменяя емкости фаз (с помощью переключателей C_{1-4} ; C_{5-8} ; C_{9-12}), записать силу тока через человека в системе с изолированной и глухозаземленной нейтралью. Данные замеров занести в таблицу 4.

6.4. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении человека к фазному проводу трехфазной сети при аварийном режиме работы сети (замыкание одного из фазных проводов на землю) – включить заданные активные сопротивления и емкости с помощью переключателей R_{1-3} ; R_{7-9} ; R_{13-15} и C_{1-4} ; C_{5-8} ; C_{9-12} ;

– включить заданное сопротивление человека тумблерами SA_{41} ; SA_{42} ; SA_{43} ; SA_{44} ;

– тумблерами SA_{35} ; SA_{36} ; SA_{37} имитировать подключение человека к заданной фазе;

– для нормального режима работы сети записать значение силы тока через человека в системе с изолированной и глухозаземленной нейтралью;

– имитировать аварийный режим работы сети, включив тумблер SA_{45} .

Заданную фазу с помощью тумблеров SA_{38} ; SA_{39} ; SA_{40} замкнуть на землю. Для системы с изолированной и глухозаземленной нейтралью записать силу тока через человека. Данные замеров занести в таблицу 4. Отключить стенд от сети.

Таблица 4

Параметр, влияющий на ток через человека	Ток через человека, мА, при режиме нейтрали	
	изолированная	глухозаземленная
Сопротивление человека: R ₁₉ =56 Ом R ₂₀ =120 Ом R ₂₁ =560 Ом R ₂₂ =1290 Ом	0,25 0,15 0,04 0,018	0,425 0,199 0,043 0,019
Активные сопротивления изоляции: R ₁ =R ₇ =R ₁₃ =120 Ом R ₂ =R ₈ =R ₁₄ =360 Ом R ₃ =R ₉ =R ₁₅ =560 Ом	0,25 0,137 0,099	0,425 0,425 0,425
Емкостные сопротивления изоляции: C ₁ =C ₅ =C ₉ =2 мкФ C ₂ =C ₆ =C ₁₀ =4 мкФ C ₃ =C ₇ =C ₁₁ =6 мкФ C ₄ =C ₈ =C ₁₂ =20 мкФ	0,25 0,252 0,254 0,287	0,425 0,425 0,425 0,425
Режим работы сети: Нормальный Аварийный	0,252 0,345	0,425 0,195

7. Указания к составлению отчета

Отчет должен включать в себя:

1. цель работы;
2. полученные результаты в виде таблицы;
3. графики зависимости силы тока через человека от:
 - сопротивления человека;
 - активного сопротивления изоляции;
 - емкости фаз;
4. выводы об опасности поражения электрическим током в трехфазных сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью на основании анализа полученных результатов (рисунок 2а);
5. схемы сетей с изолированной и глухозаземленной нейтралью (рис. 3а);

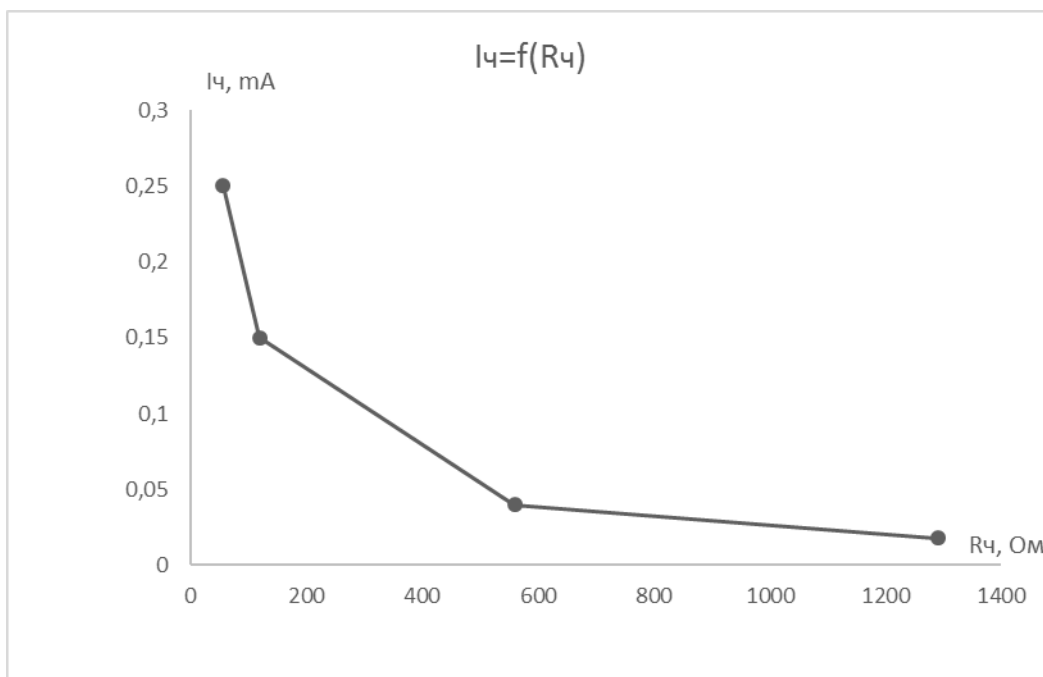


Рисунок 6 – График зависимости силы тока через человека от сопротивления человека (изолированная нейтраль)

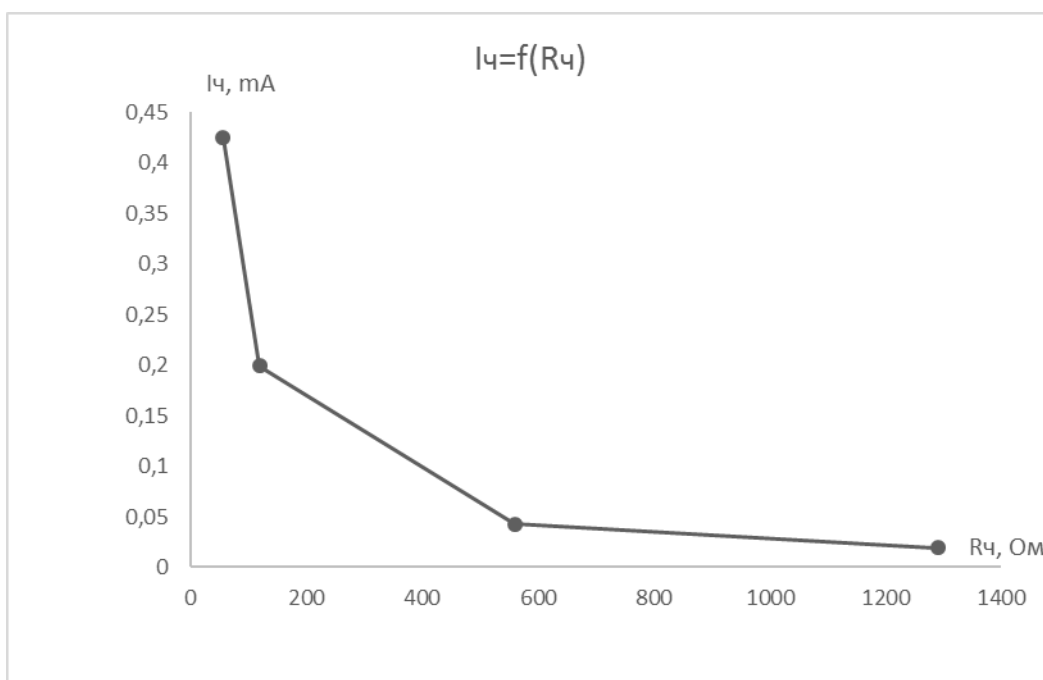


Рисунок 7 – График зависимости силы тока через человека от сопротивления человека (глухозаземленная нейтраль)

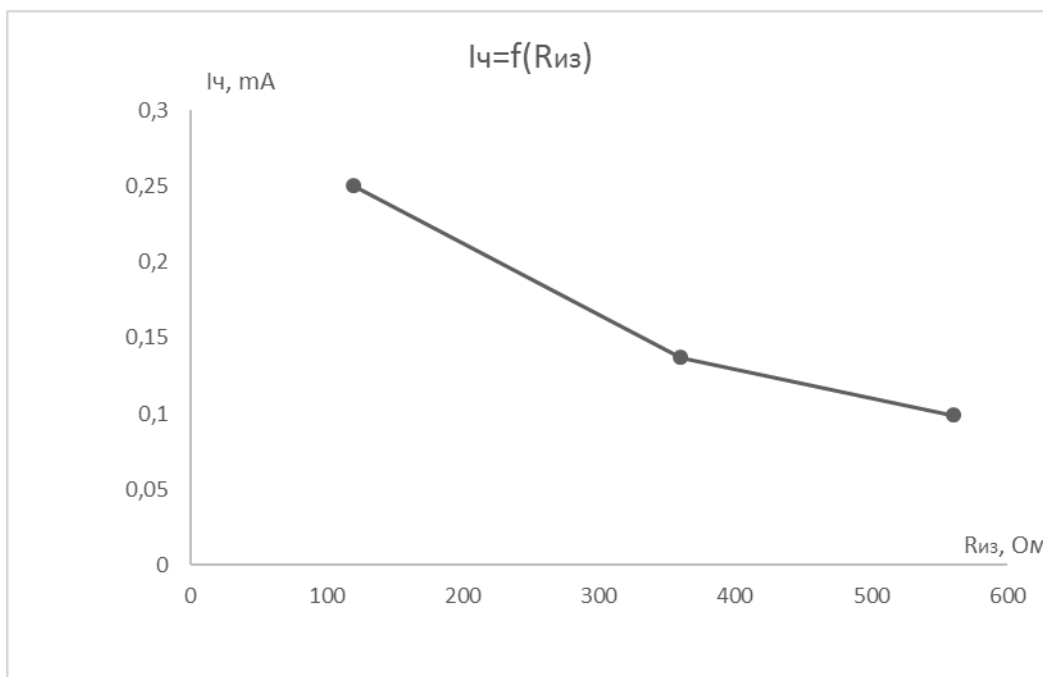


Рисунок 9 – График зависимости силы тока через человека от активного сопротивления изоляции (изолированная нейтраль)

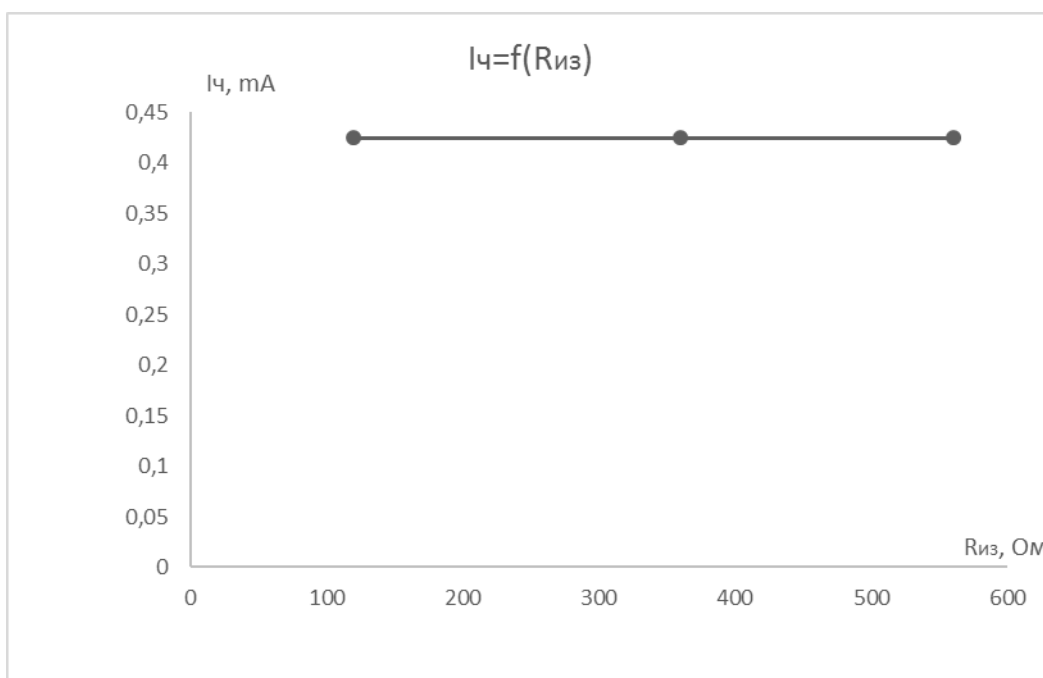


Рисунок 10 – График зависимости силы тока через человека от активного сопротивления изоляции (глухозаземленная нейтраль)

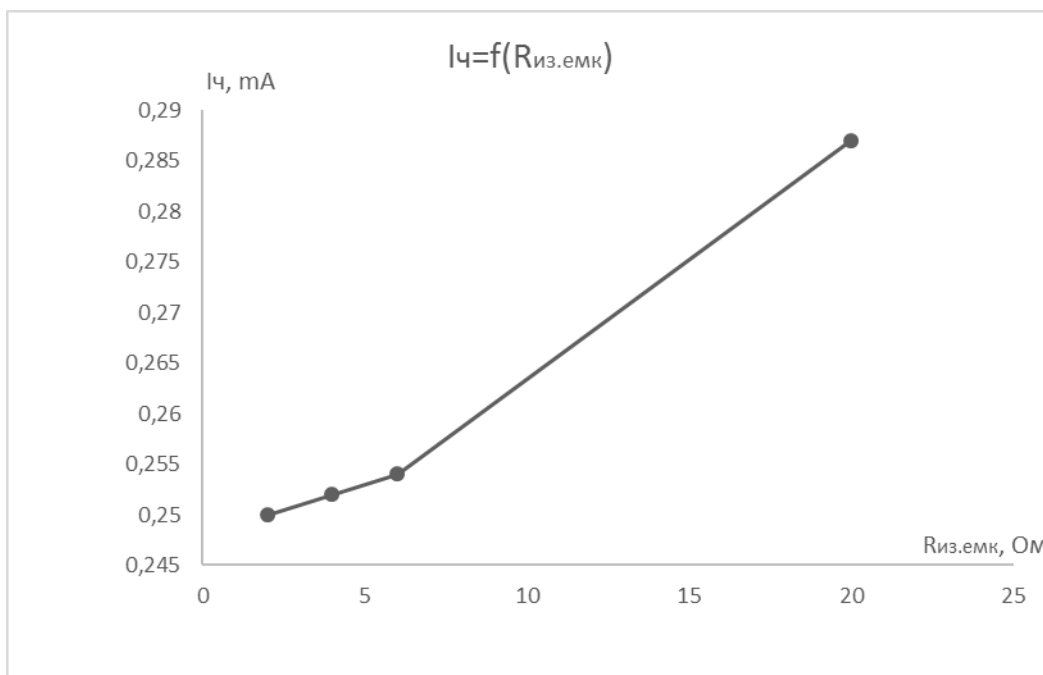


Рисунок 11 – График зависимости силы тока через человека от емкостного сопротивления изоляции (изолированная нейтраль)

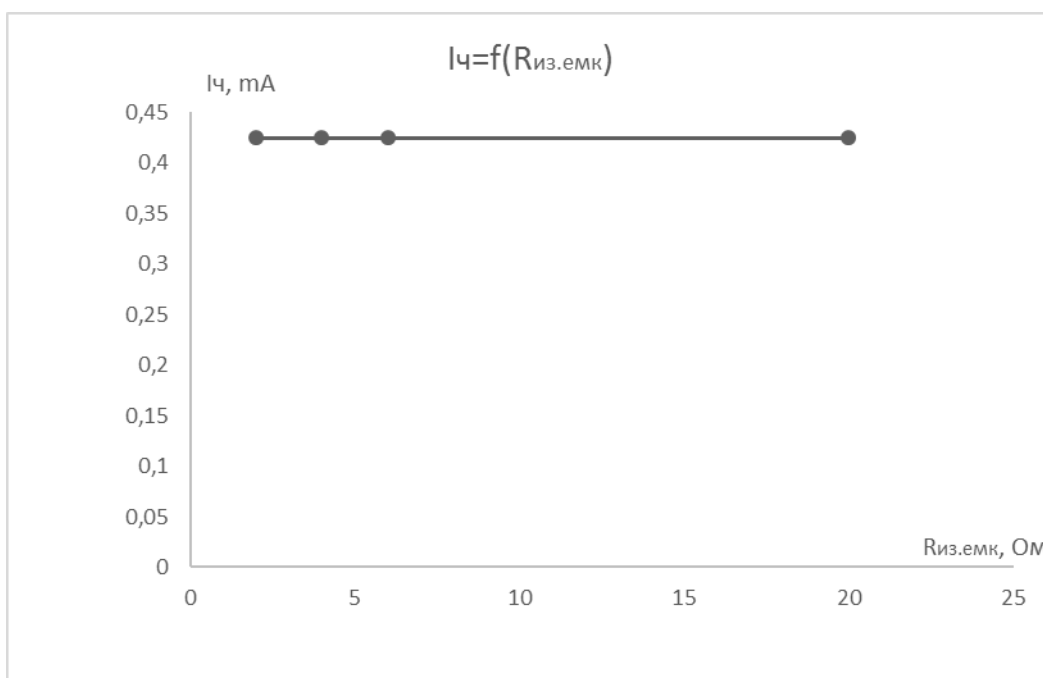


Рисунок 12 – График зависимости силы тока через человека от емкостного сопротивления изоляции (глухозаземленная нейтраль)

8. Вопросы для самопроверки

1. Виды электротравм
2. Пороговые значения тока
3. От чего зависит исход поражения электрическим током
4. Какие существуют режимы нейтралей?
5. Какая сеть называется сетью с изолированной нейтралью?
6. Какая сеть называется сетью с глухозаземленной нейтралью?

5. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью
6. Однофазное прикосновение в сети с глухозаземленной нейтралью
7. Двухфазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью
8. Двухфазное прикосновение в сети с глухозаземленной нейтралью
9. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью в аварийном режиме
10. Однофазное прикосновение в сети с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме
11. Как решаются вопросы электробезопасности в сетях с изолированной нейтралью?
12. Достоинства сети с изолированной нейтралью
13. Недостатки сети с изолированной нейтралью
14. Достоинства сети с глухозаземленной нейтралью
15. Недостатки сети с глухозаземленной нейтралью
16. Почему в случаях повышенной опасности поражения людей током применяются сети с изолированным режимом нейтрали?
17. Как определить ток через тело человека, если он прикоснется к фазе электрической сети с изолированным режимом нейтрали с малой емкостью фаз относительно земли и симметричном сопротивлении изоляции?
18. Какие режимы нейтрали электрических сетей используются на предприятиях России?

4. Безопасность жизнедеятельности

Безопасность жизнедеятельности – это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека.

Безопасность – это комплексная система мер по защите человека и среды его обитания от опасностей формируемых конкретной деятельностью. Чем сложнее вид деятельности, тем более расширена система защиты.

Для обеспечения безопасности конкретной деятельностью должны быть решены три задачи:

1. Разработать эффективные меры защиты человека и среды обитания от выявленных опасностей. Под "эффективными" подразумеваются такие меры по защите, которые при минимуме материальных затрат обеспечивают максимальный эффект;
2. Произвести полный детальный анализ опасностей формируемых в изучаемой деятельности;
3. Разработать эффективные меры защиты от остаточного риска данной деятельности. Они необходимы, так как обеспечить абсолютную безопасность деятельности не возможно.

4.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Рабочее место - СФУ, Институт горного дела, геологии и геотехнологии, учебный корпус, кафедра ЭГМП, аудитория №309а.

Оборудование - стенд для проведения лабораторных работ («Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках»).

Таблица 4.1 – Вредные и опасные факторы

№ п/п	Рабочее место или операция технологического процесса	Оборудование	Опасный (вредный) фактор, единица измерения	Величина фактора	Норматив (безопасная величина) со ссылкой на ГОСТ, СНиП и т.п.
1	Аудитория №309 а	Лабораторный стенд	Напряжение	24В	50В РД153-34.0—3.150-00 п.10.4

4.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда

Перед выполнением задания по выполнению лабораторной работы, студент должен пройти инструктаж по безопасному выполнению работы и получить дополнительные указания от преподавателя.

Стенд представляет собой стол размером 1200х750мм. Все оборудования размещено внутри стенда и на задней стенке. Доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стенда из изоляционного материала. Все токоведущие части стенда выполнены в двойной изоляции. Дополнительно присутствуют предупреждающие знаки и надпись на крышке задней панели «Не открывать, не отключив от сети» и знак электрической опасности. Дополнительно на стенде обозначена величина напряжения.

Помещение, в котором установлен стенд, имеет температуру окружающего воздуха +25⁰С, при относительной влажности 45%. Вентиляция помещения – естественная. С помощью окон обеспечивается кратность воздухообмена при скорости движения воздуха до 0,5 м/с согласно ГОСТ 30494.

Электробезопасность.

Стенд подключен к сети переменного тока напряжением 24В. На входе питания в стенд установлен автоматический выключатель, который выполняет функции выключателя и защиты, при коротких замыканиях и перегрузках. Питание стенда выполнено путем подключения гибкого кабеля с двойной изоляцией.

Эксплуатационному персоналу запрещается производить разборку стенда, снятие задней и передней стенки без отключения вводного автоматического выключателя на стенде и отключения питающего кабеля путем отключения разъёмного соединения на распределительном щитке в аудитории №309 а.

Правила безопасности перед выполнением работы.

Проверить отсутствие напряжения на лабораторном стенде (автоматиче-

ский выключатель должен быть выключен, индикаторная лампа не должна гореть).

Работая в лаборатории, студенты не должны отвлекаться и отвлекать других. Запрещается самовольное расширение рабочего места.

Студент должен предварительно проверить соответствие выполняемой работы порученному заданию. В случае неясности пригласить для проверки преподавателя или лаборанта.

Правила безопасности при выполнении работы.

Включение стенда производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания эксплуатирующий персонал должен проверить срабатывание автоматического выключателя. При повреждении оборудования, студент должен немедленно отключить автоматический выключатель на щитке рабочего места. Обо всех неисправностях, эксплуатирующий персонал, не делая попыток к исправлению, должен немедленно сообщить преподавателю.

При отсутствии напряжения в цепи автоматический выключатель должен быть в отключенном состоянии.

В случае прекращения опыта или перерыва в работе стенд надо обязательно отключить от сети.

Во время выполнения работы на стенде запрещается:

- Выполнять действия, противоречащие полученным заданиям и методичек;
- Оставлять без наблюдения стенд, находящийся под напряжением;
- Включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и тумблеры.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.

Правила безопасности по окончанию работы.

По окончании лабораторной работы, студент должен поставить в известность преподавателя или лаборанта. После проверки и разрешения преподавателя следует:

- выключить автомат питания;
- навести порядок на рабочем месте;
- сообщить преподавателю или лаборанту об окончании работы на стенде.

4.3 Мероприятия по производственной санитарии

Помещение, в котором установлен стенд, имеет стены – побеленные в бе-

лый цвет. Пол – деревянный, способ уборки – влажной тряпкой.

Система отопления – централизованное, вид теплоносителя – горячая вода до 85⁰С. В качестве нагревательного прибора используются чугунные батареи в количестве 4 штук по 7 рёбер.

На каждом этаже имеется мужской и женский санузел. Все санузлы оборудованы умывальниками. На первом этаже размещён гардероб.

Аудитория имеет площадь 68,4 м². Количество оконных проёмов – 4, размеры – 1,5х2,5 м. Оконные рамы выполнены из материала ПВХ с тройным стеклопакетом.

Искусственное освещение аудитории выполнено светильниками с люминесцентными лампами типа ЛД-18. Количество светильников – 18 шт., количество ламп в светильнике – 4шт. Нормируемое освещение согласно СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение" составляет 100 лк.

Данное помещение имеет естественный воздухообмен.

Стенд расположен задней стенкой вплотную к стене здания.

4.4 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности

Возможные источники взрывоопасности – отсутствуют.

Источники пожароопасности: короткое замыкание электрической цепи, небрежное отношение с открытым огнём (проведение ремонтных работ технических коммуникаций). В производстве не используются горючие газообразные, жидкие или твердые вещества.

Аудитория оборудована двумя огнетушителями, в коридоре имеется один огнетушитель и ящик с песком. Огнетушители типа ОП-5. На случай пожара здание учебного корпуса оборудовано противопожарной сигнализацией, звуковым оповещением и включением табличек эвакуационных выходов.

В случае возникновения пожара студент обязан:

- а) немедленно отключить главный рубильник или автоматический выключатель;
- б) принять меры по удалению всех людей из опасной зоны;
- в) вызвать пожарную охрану по телефону 01 или 112;
- г) принять меры к ликвидации пожара первичными и подручными средствами; при невозможности самостоятельной ликвидации очага пожара - покинуть помещение, плотно закрыв за собой двери.

Доврачебная помощь при поражении человека электрическим током:

1. Освободить пострадавшего от действия электрического тока;
2. Вызвать врача по телефону 03 или 112;
3. При необходимости давать нюхать нашатырный спирт, сделать искусственное дыхание и наружный массаж сердца;
4. Обеспечить пострадавшему покой.

5. Экономическая часть

Проектирование лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях». Разработка, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

На стенде выполняются следующие лабораторные работы:

1) «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В»;

2) «Контроль изоляции в электроустановках».

На рисунке 5.1 показан внешний вид стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

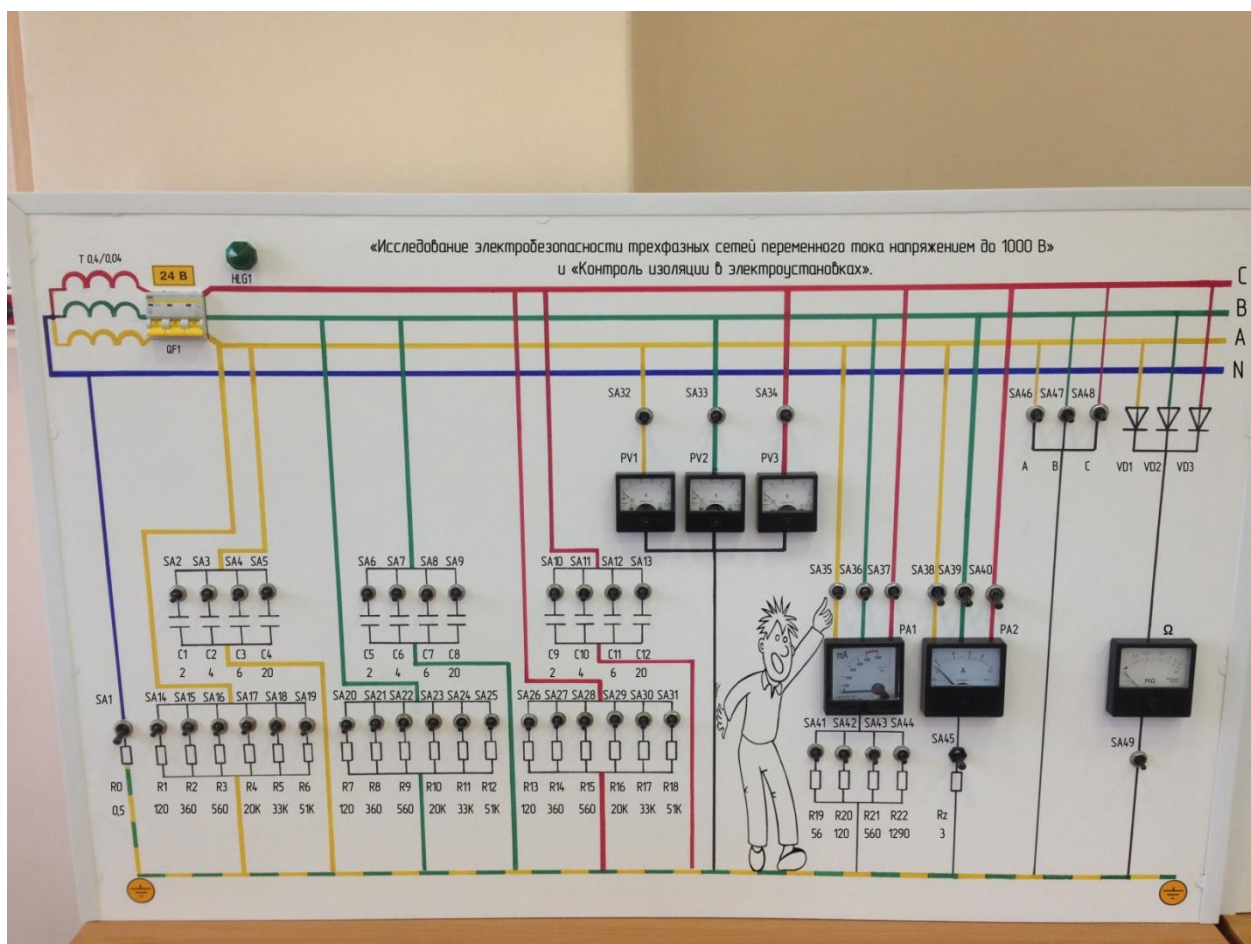


Рисунок 5.1 – Стенд «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

В экономической части дипломной работы оцениваем экономический эффект от внедрения предлагаемого лабораторного стенда.

Цена данных стендов, учитывая НДС, составляет 126870,38 руб. Для оценки экономической эффективности следует определить цену разработанных лабораторных стендов.

Для расчета себестоимости лабораторных стендов составим смету расходов по статьям затрат:

- затраты на электрооборудование;
- затраты на материалы;
- заработная плата рабочих;
- накладные расходы.

5.1 Расчет затрат на приобретение электрооборудования

В таблице 5.1 указано количество и стоимость электрооборудования приобретенного для производства стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

Таблица 5.1 – Электрооборудование стендов

Наименование материала	Ед. изм.	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Автоматический выключатель ВА47-29 10А iEK 3P	шт.	1	276,00	276,00
Лампа индикаторная 24 В зеленая	шт.	1	85,00	85,00
ТумблерТВ1-4 5А	шт.	5	245,00	1225,00
Тумблер ТП1-2 5А	шт.	44	37,00	1628,00
Вольтметр М2001/1 50V	шт.	3	210,00	630,00
Амперметр М42100 500мА	шт.	1	200,00	200,00
Амперметр Е8030 10А	шт.	1	250,00	250,00
Мегомметр Ф4106	шт.	1	600,00	600,00
Однофазный трансформатор	шт.	3	1800,00	5400,00
Итого:				10294,00

5.2 Расчет затрат на материалы

При сборке лабораторных стендов выполнялись следующие виды работ:

- установка и подключение измерительных приборов, автоматического выключателя, тумблеров и сигнальной аппаратуры;
- проектирование и разработка корпуса для трансформаторов;
- монтаж проводки и подключение всего оборудования;
- соединение силовой части и цепей управления;
- наладочные работы.

При производстве этих работ использованы материалы, которые указаны в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Материалы

Наименование материала	Ед. изм.	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Кабель 5х1,5	м	7	46,00	322,00
Кабель ВВГ 5х2,5	м	6	65,00	390,00
Щиток ЩРН-П-8 модулей	шт.	1	328,00	328,00
Автоматический выключатель-ВА47-29 16А iЭК 3Р	шт.	1	276,00	276,00
Кабель канал 16х25	шт.	5	46,00	230,00
Угол внешний 25/16 мм	шт.	5	10,00	50,00
Угол внутренний 25/16 мм	шт.	5	10,00	50,00
Фанера ФК 6мм 1525х1525	лист	2	398,00	796,00
ЛДСП белая 2440х910х3 мм (2,24 м ²)	лист	1	558,00	558,00
Винты оцинкованные 6х50	шт.	30	3,00	90,00
Шайба оцинкованная 6 мм	кг.	0,048	268,00	12,00
Гайка оцинкованная М6	кг.	0,092	215,00	19,78
Сверло по металлу	шт.	8	25,00	200,00
Заглушка самоклей. белая d13	шт.	25	1,00	25,00
Хомут пластиковый 100х2.5	шт.	300	0,00	150,00
Аэрозольная краска черная 425мл	шт.	2	142,00	284,00
Саморезы 2х16	кг.	0,355	321,00	113,00
Наждачная бумага Р120	лист	5	8,00	40,00
Флюс СКФ 30мл	шт.	1	56,00	56,00
Гвозди строительные 1,2х20 уп. 100шт.	шт.	1	40,00	40,00
Маркеры цветные Paint	шт.	6	100,00	600,00
Линейка 50 см	шт.	2	25,00	50,00
Изолента ЭРА 19 мм	шт.	2	45,00	90,00
Символ 380В 40х20	шт.	1	4,00	4,00
Символ 24В 15х50	шт.	1	4,00	4,00
Символ молния 50х50х50	шт.	1	4,00	4,00
Символ заземления30х30	шт.	2	3,00	6,00
Текстолит 60х40 см	шт.	1	350,00	350,00
Конденсатор 2 мкФ	шт.	12	90,00	1080,00
Конденсатор4 мкФ	шт.	3	100,00	300,00
Конденсатор 20 мкФ	шт.	3	120,00	360,00
Резистор 1 Ом 20Wкер.	шт.	2	42,00	84,00
Резистор 120 Ом 10Wкер.	шт.	4	38,00	152,00
Резистор 360 Ом 5Wкер.	шт.	3	35,00	105,00
Резистор 56 Ом 10Wкер.	шт.	1	36,00	36,00
Резистор 560 Ом	шт.	4	2,00	8,00
Резистор 20 кОм	шт.	3	2,00	6,00
Резистор 33 кОм	шт.	3	2,00	6,00
Резистор 51 кОм	шт.	3	2,00	6,00

Резистор 1290 Ом	шт.	1	3,00	3,00
Диод FR607	шт.	3	10,00	30,00
Зажим винтовой 2,5х6	шт.	5	55,00	275,00
Площадка самоклей. 25х25мм	шт.	20	2,00	40,00
Провод ВВГ 1.5	м.	100	30,00	3000,00
Маркер пластиковый для кабеля сечение 1,5 (упак.)	шт.	2	250,00	500,00
Корпус металлический	шт.	1	800,00	800,00
Уголок металлический 30х20 мм	м.	6	205,00	1230,00
Парта ученическая 1600х1200	шт.	1	2100,00	2100,00
Итого:				15260,59

5.3 Расчет расходов по заработной плате персонала

При изготовлении лабораторного стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В» и «Контроль изоляции в электроустановках», применяется повременно-премиальная система оплаты труда. При монтажно-наладочных работах был задействован один наладчик. Тарифный фонд заработной платы определяется произведением часовой тарифной ставки на фонд рабочего времени и количество рабочих и приведен в таблице 5.3.

В таблице 5.4 приведен расчет общего фонда оплаты труда рабочих. Величина тарифного фонда берется из таблицы 5.3. Премиальные доплаты принимаем за 20% от тарифного фонда. Дополнительную заработную плату можно принять в размере 12% от основной.

Доплаты по районному и северному коэффициенту по 30% от суммы тарифного фонда с доплатами.

Годовой фонд заработной платы определяется как сумма основной и дополнительной заработной платы.

Работы по производству лабораторного стенда производились в течение 2 месяцев.

Таблица 5.3 – Расчет тарифного фонда заработной платы

Должность	Количество рабочих	Разряд	Годовой фонд рабочего времени 1-го рабочего, час.	Часовая тарифная ставка, руб.	Годовой тарифный фонд заработной платы, руб.
Наладчик	1	6	1987	48,52	96409,24
Итого:					96409,24

Таблица 5.4 – Расчет общего фонда оплаты труда рабочих.

Должность	Число штатных ед.	Часовая тарифная ставка	Годовой тарифный фонд оплаты труда, руб	Премия	Вознаграждение по итогам года, руб	Итого с учетом районного и северного коэффициентов, руб	Фонд зарплаты за месяц	Фонд зарплаты за 2 месяца
Наладчик	1	48,5 2	96409,24	19281,85	11569,11	203616,32	16968,03	33936,06
Итого:			96409,24	19281,85	11569,11	203616,32	16968,03	33936,06

Общая сумма затрат определена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 - Расчет затрат на производство лабораторных стенов.

Наименование затрат	Сумма, руб.	Примечание
Затраты на материалы	15260,59	
Затраты на МБП	10294,00	
Заработная плата	33936,06	
Отчисления ЕСН	8823,38	26% от ЗП
Накладные расходы	8484,02	25% от ЗП
Итого:	76798,05	

Цена лабораторных стенов принимается из расчета планового уровня рентабельности работ в размере 40%.

$$Ц = 76798,05 \times 1,4 = 107517,27 \text{ руб} \quad (5.1)$$

Цена к продаже с НДС лабораторного стенов «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

$$Ц_{\text{НДС}} = 107517,27 \times 1,18 = 126870,38 \text{ руб} \quad (5.2)$$

Заключение

Подводя итоги дипломной работы, можно сказать о следующих результатах. Было сделано электроснабжение лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях», проложен питающий кабель в кабель – канале, смонтирован распределительный щит с вводным автоматическим выключателем. Спроектирован и рассчитан силовой понижающий трансформатор, для питания лабораторных стендов, который в дальнейшем так же сможет обеспечить работу новых лабораторных стендов в данной аудитории.

В начале работы была создана модель лабораторной работы в среде Multisim и рассчитана в системе Mathcad, так как полученные значения не отличались от данных в научной литературе был спроектирован и создан стенд «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В». Стенд сделан на самостоятельной электрической плате, которая обеспечивает стабильную работу стенда, данная плата не имеет аналогов. Было создано методическое обеспечение и указания для выполнения лабораторной работы.

Спроектированный и смонтированный лабораторный стенд, имеет огромное практическое значение для обучения студентов. При проведении лабораторной работы можно не только теоретически, но и на практике увидеть возможные варианты развития событий при опасном прикосновении человека к фазе трехфазной электрической сети с различными режимами нейтрали.

В будущем студенты смогут модернизировать данный стенд, тем самым усовершенствовать приборы, для более точного и детального изучения. Так же в перспективе кафедра ЭГМП хочет продолжить развивать лабораторию по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях».

Список используемых источников

1. Герасимов А.И. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов /А.И. Герасимов, С.В. Кузмин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2006. – 264с.
2. Герасимов А.И. Проектирование электроснабжения цехов обогатительных фабрик: Учеб. пособие /А.И. Герасимов, С.В. Кузмин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 304с.
3. Герасимов А.И. Электроснабжение карьеров: Учеб. пособие /А.И. Герасимов, Б.С. Заварыкин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 184с.
4. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов /П.А. Долин – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с., ил.
5. Лабораторный практикум по электробезопасности и пожарной безопасности/И.В. Гейко, А.Б. Елькин, Н.С. Конюхова, Т.И. Курагина, О.В. Маслеева, Л.И. Молвина, В.И. Миндрин, Г.В. Пачурин. Н.Новгород: НГТУ, 2012.–с.
6. Правила устройства электроустановок / Минэнерго РФ. - 7-е изд., перераб. и доп. – М., 2002.
7. Никитский В.З. Трансформаторы малой мощности. [Текст] Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1976 – 96 с. с ил.
8. Ломоносов В.Ю., Поливанов К.М., Михайлов О.П. Электротехника [Текст] – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 400с.: ил.
9. ГОСТ 2.710-81 Правила выполнения схем. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. Измененная редакция, Изм. № 1 Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 31 марта 1981 г. № 1675 срок введения установлен с 01.07.87
10. ГОСТ 2.723—68 Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители. 5 Издание (май 2002 г.) с Изменениями № 1, 2, 3, утвержденными в марте 1981 г., июле 1991 г., октябре 1993 г. (ИУС 6—81, 10—91, 5—94)
11. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения /Г.М. Кнорринг, И.М. Фадин, В.Н. Сидоров – 2-е изд., перераб. И доп. – СПб,: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
12. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 216

Приложения

Таблица 1 – Спецификация электрооборудования

Обозначение	Наименование	Количество
	<i>Автоматический выключатель</i>	
QF1	ВА47-29 3Р 10А ИЕК	1
	<i>Индикаторная лампа</i>	
HLG1	24 В	1
	<i>Амперметры</i>	
A1	Амперметр переменного тока $I_n=1A$	1
A2	Амперметр переменного тока $I_n=10A$	1
	<i>Вольтметры</i>	
V1	Вольтметр постоянного тока $U_n=50B$	1
V2	Вольтметр постоянного тока $U_n=50B$	1
V3	Вольтметр постоянного тока $U_n=50B$	1
	<i>Омметр</i>	
MΩ1	Омметр постоянного тока Ф-4106	1
	<i>Тумблеры</i>	
SA2-SA37,SA41-44, SA46-49	ТП2-1	44
SA1,SA38-SA40,SA45	ТВ1-4	5
	<i>Резисторы</i>	
R1,R7,R13,R20	Резистор 120 Ом	4
R2,R8,R14	Резистор 360 Ом	3
R3,R9,R15,R21	Резистор 560 Ом	4
R19	Резистор 56 Ом	1
R22	Резистор 1290 Ом	1
R0	Резистор 0,5 Ом	1
Rz	Резистор 3 Ом	1
R4,R10,R16	Резистор 20 кОм	3
R5,R11,R17	Резистор 33 кОм	3
R6,R12,R18	Резистор 51 кОм	3
	<i>Конденсаторы</i>	
C1,C5,C9	Конденсатор 2 мкФ	3
C2,C6,C10	Конденсатор 4 мкФ	3
C3,C7,C11	2 мкФ, 2 мкФ, 2 мкФ = 6 мкФ	9
C4,C8,C12	Конденсатор 20 мкФ	3
	<i>Диоды</i>	
VD1, VD2, VD3	Диод FR-607	3

Тумблеры ТВ1-4

Предназначены для коммутации электрических цепей управления переменного и постоянного тока. Рассчитаны на напряжение 220В и силой тока в 5А.

Применяются в радиоэлектронной, приборной и специальной технике. Предназначены для ручной коммутации низковольтных электрических цепей малой мощности, не требующих частого переключения. Преимущества:

простая и надежная конструкция тумблера, диаметр установочного отверстия 12,1 мм – стандартный размер в отечественной радиоэлектронной промышленности, выдерживает без остаточных деформаций пружинящих деталей 10000 циклов, простой и удобный монтаж тумблера – достаточно вставить тумблер в отверстие и зафиксировать его гайкой.

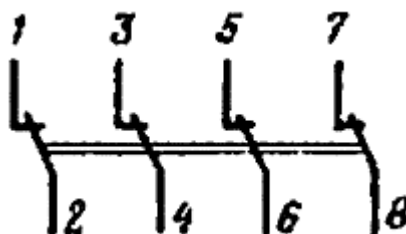


Рисунок 1 – Электрическая схема тумблера ТВ1 – 4

Внешний вид тумблера ТВ1-4 представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Тумблер ТВ1 – 4

Тумблер ТП2-1

Тумблеры с врубными контактами предназначены для ручной коммутации низковольтных электрических цепей малой мощности, не требующих частого переключения. Изготавливаются в климатическом исполнении УХЛ и В. Один из вариантов исполнения — тумблер с металлическим узлом. Основные технические характеристики тумблеров ТП1-2 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики тумблеров ТП1 – 2

Электрическая прочность изоляции:	1100 В
Сопротивление контакта:	не более 0,02 Ом
Сопротивление изоляции:	не менее 1000 МОм
Усилие переключения:	от 3,9 до 14,7 Н
Рабочая температура:	от -60С до +70С (для приемки «5» до +85С)
Повышенная относительная влажность:	для исполнения В при 35С – 98% для исполнения УХЛ при 25С – 98%
Гарантийная наработка:	для приемки «1» – 10000 ч для приемки «5» – 5000 ч
Гарантийный срок с даты изготовления:	8 ч / 12 ч

Продолжение таблицы 1

Тип	Конт. группа	Нап ряж. (В)	Ток (А)	Макс. ком-мутируемая мощность (Вт)	Кол-во циклов переключений в НКУ	Размеры (мм)	Масса (г)	Примечание
Тум-блер ТП 1-2	2 "п"	от 1,6 до 220	от 0,001 до 2	220	10000	28,5x17,5 x44	26	Установочный диаметр – 12 мм

Внешний вид тумблера ТП2-1 представлен на рисунке 3



Рисунок 3 – Тумблер ТП2 – 1

Автоматические выключатели ИЕК ВА47-29 1Р 10А-С

Автоматический выключатель предназначен для защиты от перегрузок и коротких замыканий, а также для оперативного управления участками электри-

ческих цепей.

Защита обеспечивается двумя расцепителями – электромагнитным (мгновенно срабатывает при значительном превышении тока) и тепловым (время срабатывания зависит от величины тока и составляет от нескольких секунд до нескольких часов).

Характеристика срабатывания электромагнитного расцепителя «С» является стандартной и наиболее используемой, обычно применяется для защиты распределительных и групповых цепей со значительными пусковыми токами и смешанной нагрузкой (освещение, розетки и т.д.). Срабатывание электромагнитного расцепителя происходит в том случае, если ток превышает номинальный в 5 – 10 раз.

Отключающая способность указывает на максимальный ток короткого замыкания, который автоматический выключатель способен выдержать, сохранив свою работоспособность.

Класс токоограничения указывает на быстрдействие автоматического выключателя в случае короткого замыкания. Класс 3 является самым высоким.

Преимущества:

- 1) Два типа защиты от перегрузки и короткого замыкания;
- 2) Полный комплект дополнительных устройств с возможностью простой самостоятельной установки;
- 3) Широкий диапазон рабочих температур от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$;
- 4) Усовершенствованная более широкая рукоятка включения с увеличенной площадью контакта;
- 5) Насечки на контактных зажимах снижают тепловые потери и увеличивают механическую устойчивость соединения.

Автоматический выключатель ВА47-29 представлен на рисунке 4



Рисунок 4 – Автоматический выключатель ВА47-29

Методические указания к выполнению лабораторной работы.

Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000 В

1. Цель работы

1.1. Оценить опасность прямого прикосновения человека к фазным проводам электрических сетей напряжением до 1000 В.

1.2. Определить влияние активного сопротивления изоляции и емкости фазных проводов относительно земли на опасность поражения человека электрическим током при нормальном и аварийном режимах работы сети с изолированной и глухозаземленной нейтралью.

1.3. Оценить опасность при двухфазном прикосновении человека к электрической сети.

2. Теоретическая часть

2.1. Действие электрического тока на организм человека Опасность электрического тока усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение электрического тока дистанционно. Опасность обнаруживается слишком поздно, когда человек уже поражен. Условием поражения человека электрическим током является его прикосновение к двум точкам электрической цепи с разными потенциалами.

Электротравма – травма, вызванная воздействием электрического тока или электрической дуги.

Электрический удар – электротравма, проявляющаяся в возбуждении живых тканей организма протекающим через него электрическим током. При этом наступают судороги мышц или других тканей, шок, паралич дыхания, нарушение деятельности сердца и кровообращения. Опасность поражения человека определяется величиной тока, проходящего через тело человека. В зависимости от реакции организма на ток можно выделить следующие его значения.

Пороговый осязаемый ток – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через организм осязаемые раздражения. Для тока промышленной частоты ($f = 50$ Гц) значение порогового осязаемого тока составляет 0,5 – 1,5 мА.

Пороговый неотпускающий ток – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник. Человек при этом не может самостоятельно освободиться от проводника. Величина этого тока составляет 10 – 15 мА при $f = 50$ Гц.

Пороговый фибрилляционный ток – наименьшее значение электрического тока, вызывающего при прохождении через органы человека фибрилляцию сердца. Кровообращение останавливается. Сердце человека самостоятельно выйти из этого состояния не может, через несколько минут наступает

смерть. Величина этого тока составляет 50 – 8 мА при $f = 50$ Гц.

Переменный ток 100 мА считается смертельным.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока зависит от различных факторов:

– От сопротивления тела человека;

Электрическое сопротивление человека складывается из сопротивления кожи и внутренних органов. Кожа обладает большим сопротивлением и определяет общее сопротивление человека. При сухой и неповрежденной коже сопротивление тела человека составляет 2 000 – 2 000 000 Ом. При увлажненной, загрязненной и поврежденной коже сопротивление тела сокращается до 300 – 500 Ом, т.е. до сопротивления внутренних органов. В расчетах по электробезопасности сопротивление человека принимается равным 1000 Ом.

– От величины напряжения, действующего на человека;

С повышением напряжения, приложенного к телу человека, возможен пробой рогового слоя кожи (при $U > 50$ В), что приводит к уменьшению сопротивления человека.

– От рода и частоты тока;

Постоянный ток безопаснее, чем переменный ток промышленной частоты примерно в 4 – 5 раз. Это справедливо до напряжения 500 В, свыше 500 В постоянный ток становится опаснее. Максимальную опасность переменный ток оказывает при частоте 60 Гц. С последующим увеличением частоты тока до 1000 Гц и более опасность поражения человека резко увеличивается.

– От продолжительности воздействия электрического тока;

При увеличении продолжительности воздействия электрического тока сопротивление тела человека падает вследствие усиления кровообращения участков кожи под электродами и потовыделения. При этом ток может возрасти до значения, способного вызвать остановку сердца. Допустимое время воздействия при напряжении 220 В составляет 0,2 с.

– От условий внешней среды;

Параметры микроклимата в производственных помещениях влияют на сопротивление тела человека. Увеличение температуры, влажности, снижение подвижности воздуха приводят к росту опасности поражения, так как влаговыделение снижает сопротивление кожных покровов.

– От индивидуальных свойств человека.

Физически здоровые люди легче переносят электрические удары, чем больные и слабые. Повышенной восприимчивостью к воздействию электрического тока обладают лица, страдающие сердечно – сосудистыми, кожными, нервными и легочными заболеваниями.

2.2. Анализ опасности поражения током в электрических сетях

Степень опасности прикосновения человека к открытым незаземленным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением, зависит от вида прикосновения, вида электрической сети, режима работы сети

(нормальный или аварийный).

Прикосновение может быть:

- однофазным, когда человек касается одной фазы электросети;
- двухфазным, когда человек касается двух фаз электросети.

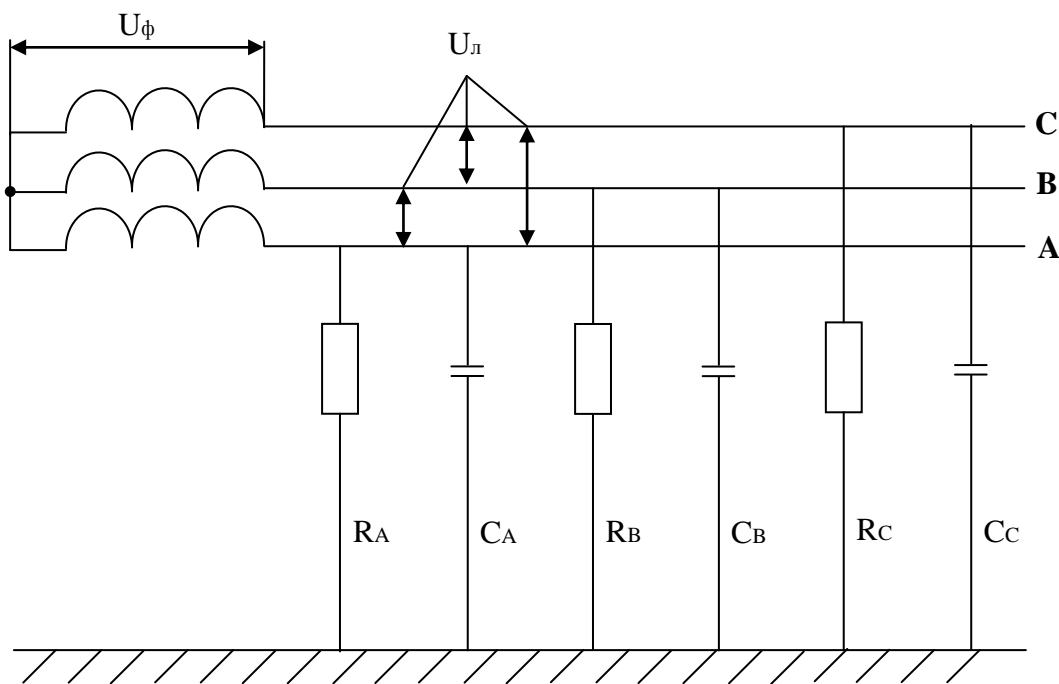
Согласно ПУЭ (Правил устройства электроустановок) при напряжении до 1000 В применяют следующие виды электрических трехфазных сетей:

- трехпроводная с изолированной нейтралью (рисунок 1а);
- четырехпроводная с глухозаземленной нейтралью (рисунок 1б).

Изолированной называется нейтраль генератора или трансформатора, не присоединенная к заземляющему устройству.

Глухозаземленной называется нейтраль генератора или трансформатора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление r_0 .

При нормальном режиме работа трехфазной сети с любым режимом нейтрали потенциал нулевой точки равен нулю. Между нулевой точкой (нейтралью – N) и любым фазным проводом (A, B, C) действует фазное напряжение U_{ϕ} . Так как нулевой проводник O в системе с глухозаземленной нейтралью непосредственно соединен с нейтралью, то между ним и любой фазой также действует фазное напряжение. Между фазными проводами действует линейное напряжение $U_{л}$.



а)

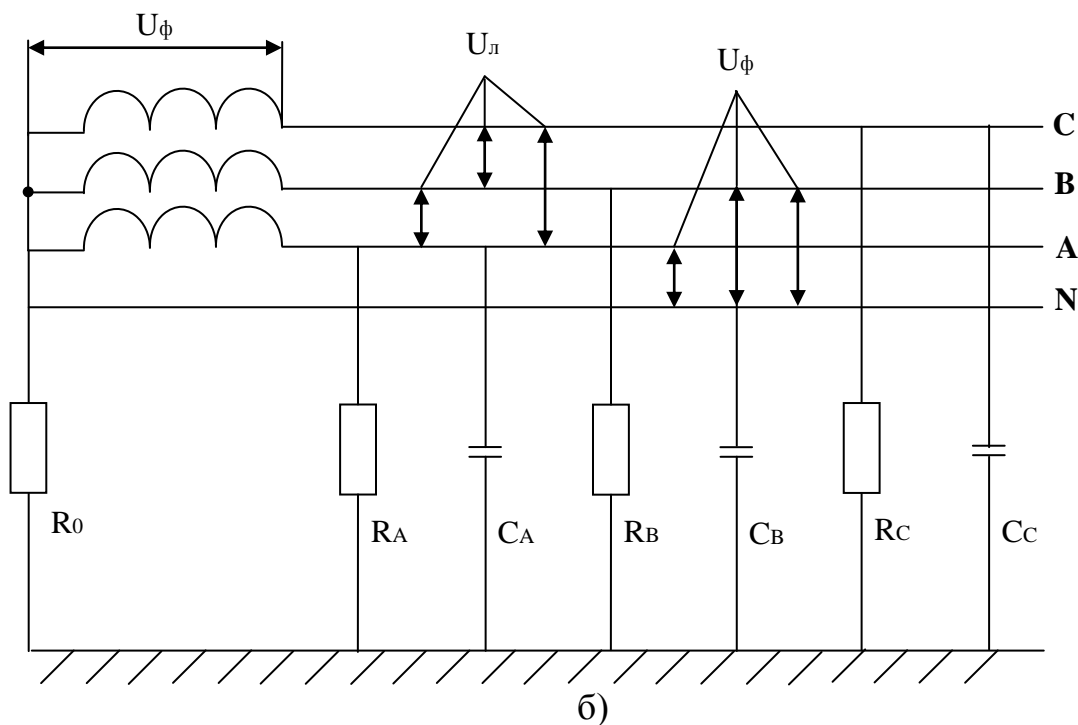


Рисунок 1 – Виды электрических трехфазных сетей: а – трехпроводная с изолированной нейтралью; б – четырех проводная с глухозаземленной нейтралью; А, В, С – фазные проводники; N – нулевой рабочий проводник; O – нейтраль; U_{ϕ} – фазное напряжение; $U_{л}$ – линейное напряжение; R_A, R_B, R_C – активное сопротивление изоляции фазных проводников (согласно ПУЭ не менее 0,5 МОм); C_A, C_B, C_C – емкости фаз относительно земли; r_0 – сопротивление заземления нейтрали (согласно ПУЭ 4 Ом).

Наибольшее распространение получили трехфазные сети, у которых линейное напряжение $U_{л} = 380$ В, фазное $U_{\phi} = 220$ В, а между линейным и фазным напряжениями существует зависимость $U_{л} = U_{\phi} \sqrt{3}$.

Идеальной изоляции, т.е. такой, у которой сопротивление относительно земли бесконечно велико, в практике не существует. Поэтому на каждом участке длины провода изоляция имеет конечное активное сопротивление (R_A, R_B, R_C). Кроме того, каждый участок провода имеет емкость относительно земли (C_A, C_B, C_C).

Для сравнительной оценки опасности сетей ниже рассмотрены следующие сети с напряжением до 1000 В: трехфазные четырехпроводные с изолированной нейтралью и трехфазные четырехпроводные с глухозаземленной нейтралью при нормальном и аварийном режимах работы.

2.2.1. Трехфазная трехпроводная сеть с изолированной нейтралью

В нормальном режиме работы при однофазном прикосновении (рисунок 2а) сила тока, проходящего через человека для случая симметричного сопро-

тивления изоляции фаз, т.е. $R_A = R_B = R_C = R$ и $C_A = C_B = C_C = C$, определится выражением в комплексной форме:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + Z/3}, A$$

где R_h – сопротивление тела человека, Ом;

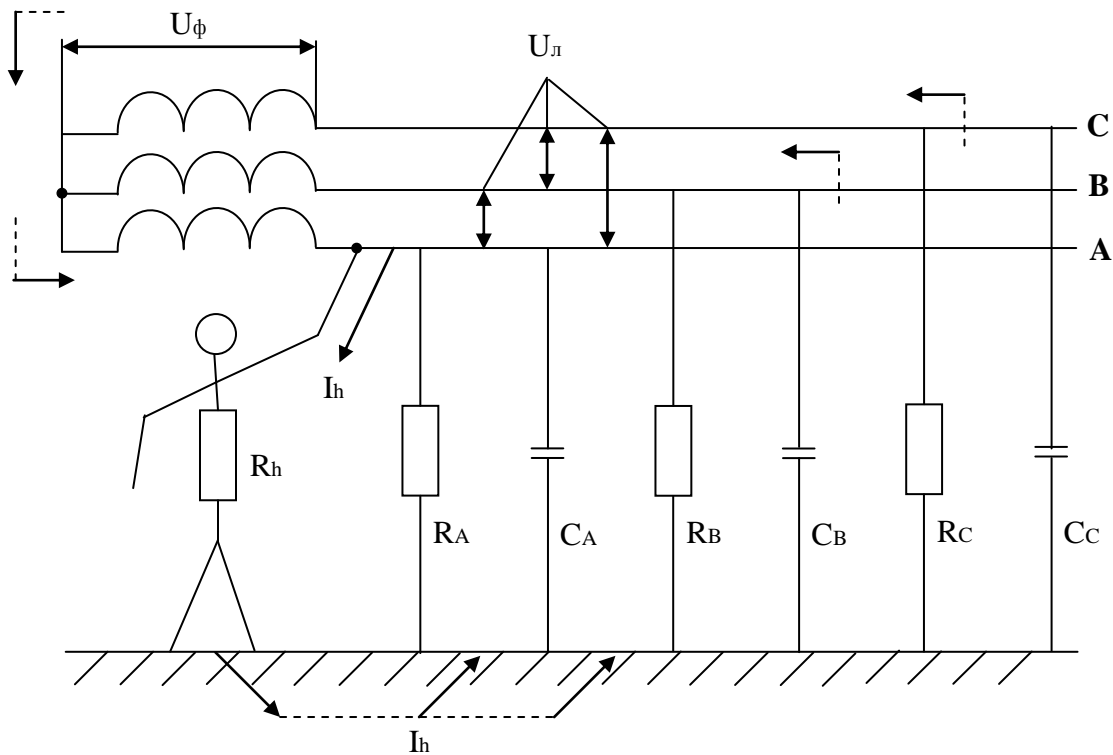
Z – полное сопротивление одной фазы относительно земли, Ом.

$$Z = \frac{R_{из}}{(1 + j\omega CR_{из})}$$

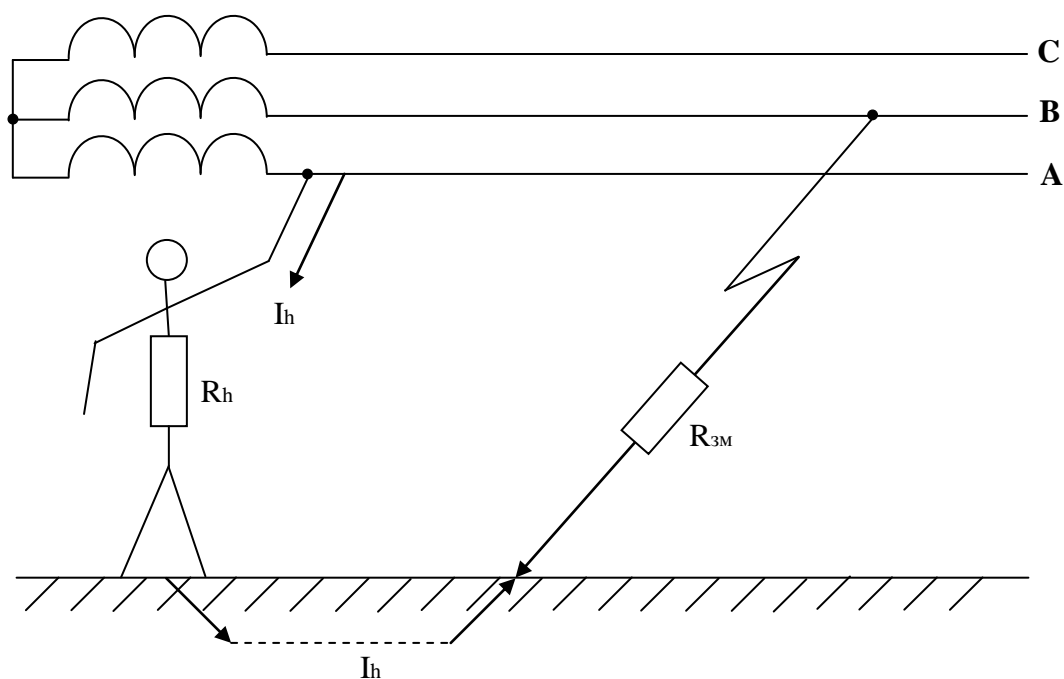
где $R_{из}$ – активное сопротивление изоляции, Ом;

ω – угловая частота, c^{-1} ;

C – емкость провода относительно земли, Ф.



a)



б)

Рисунок 2 – Прикосновение человека к проводу трехфазной трехпроводной сети с изолированной нейтралью: а – нормальный режим; б – аварийный режим

Для воздушных сетей малой протяженности емкость проводов относительно земли незначительна ($C \approx 0$), тогда сила тока, протекающего через человека, выразится зависимостью:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + R_{из}/3}, A$$

При $U_\phi = 220$ В, $R_h = 1000$ Ом, $R_{из} = 500\,000$ Ом, сила тока через человека $I_h = 1,3$ мА, т.е. относительно не опасна (ощутимый ток).

При использовании кабельных линий емкости проводов относительно земли и сопротивления изоляции имеют очень большое значение ($C \neq 0$; $R_{из} \rightarrow \infty$), тогда сила тока, протекающего через человека:

$$I_h = \frac{U_\phi}{\sqrt{R_h^2 + (X_c/3)^2}}, A$$

где $X_c = 1/C$ – емкостное сопротивление изоляции проводов, Ом.

Из рассмотренных выражений следует, что сила тока, проходящего через человека, зависит от активного сопротивления изоляции (характерно для воздушных сетей) и емкостного сопротивления изоляции проводов (характерно для кабельных сетей).

В аварийном режиме, когда одна из фаз замкнута на землю через малое

сопротивление $r_{зм}$, человек, прикасаясь к другой фазе, оказывается включенным между двух фаз (рисунок 2б).

Величина тока, проходящего через человека:

$$I_h = \frac{U_\phi \sqrt{3}}{R_h + r_{зм}}, A$$

При $U_\phi = 220$ В, $R_h = 1000$ Ом, $r_{зм} = 0,5$ величина тока через человека $I_h = 380$ мА, т.е. смертельна.

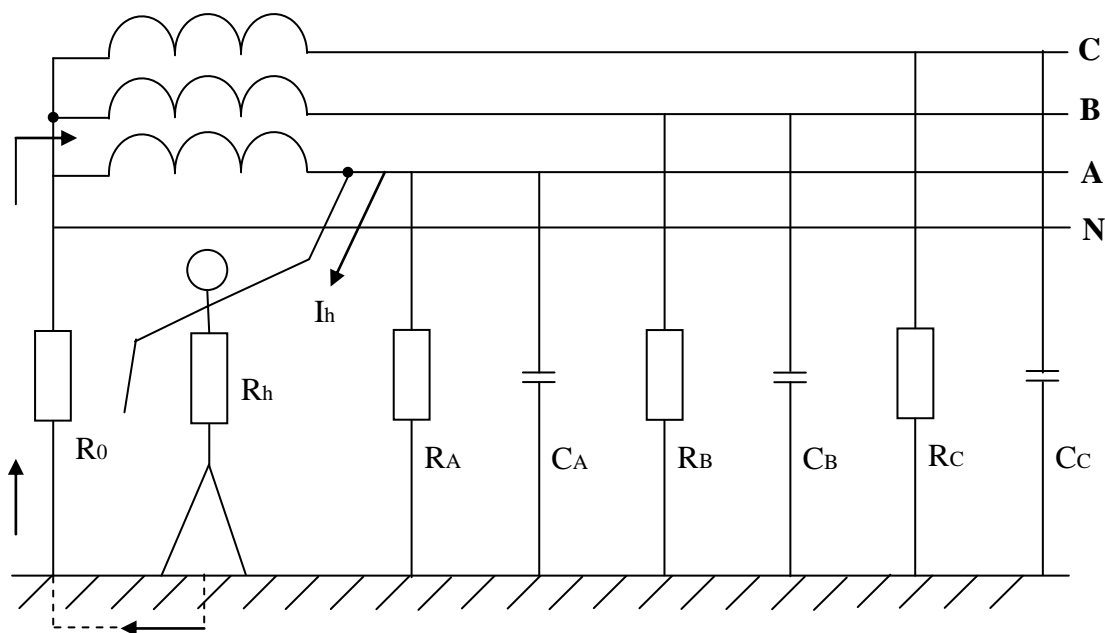
В аварийном режиме сила тока, проходящего через человека, резко возрастает, т.к. защитная роль сопротивлений изоляции сводится к нулю (т.к. $r_{зм} \ll R_{из}$). Следовательно, в аварийном режиме значительно увеличивается опасность поражения электрическим током.

2.2.2. Трехфазная четырехпроводная сеть с глухозаземленной нейтралью

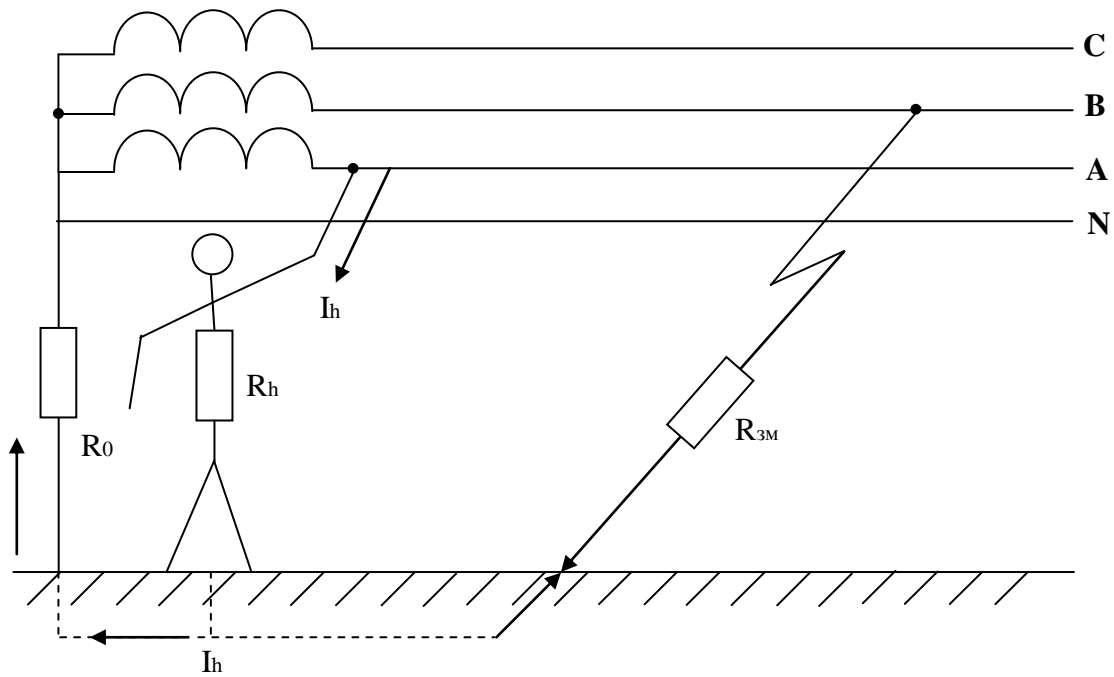
В нормальном режиме при однофазном прикосновении (рисунок 3а) напряжение прикосновения практически равно фазному ($U_{пр} \approx U_\phi$), поскольку сопротивление заземления нейтрали $r_0 \ll R_h$. Сила тока, проходящего через человека, определится выражением:

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h + r_0}, A$$

То есть сила тока через человека зависит только от сопротивления человека и не зависит от качества изоляции. При $U_\phi = 220$ В, $R_h = 1000$ Ом, $r_0 = 4$ Ом, сила тока через человека $I_h \approx 220$ мА, т.е. смертельна.



а



б)

Рисунок 3 – Прикосновение человека к фазному проводу трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью: а – нормальный режим; б – аварийный режим

В аварийном режиме одна из фаз замкнута на землю через малое сопротивление r_{3M} (рисунок 3б).

Если сопротивление замыкания фазы на землю $r_{3M} = 0$, то напряжение прикосновения $U_{пр} = \sqrt{3}U_{\phi} = U_{л}$. Если сопротивление заземления нейтрали

$r_0 = 0$, то аварийная фаза окажется соединенной с нейтралью и напряжение прикосновения $U_{пр} = U_{\phi}$. Оба случая являются смертельными для человека. В действительности $r_{3M} \neq 0$ и $r_0 \neq 0$, кроме того $r_{3M} \gg r_0$, поэтому напряжение прикосновения, под которым окажется человек определяется зависимостью:

$$\sqrt{3}U_{\phi} \gg U_{пр} > U_{\phi}$$

Если величина $r_{3M} \approx r_0$, то сила тока, проходящего через человека:

$$I_h = \frac{U_{\phi}(r_{3M} + r_0\sqrt{3})}{r_{3M}r_0 + R_h(Z_{3M} + r_0)} = \frac{U_{\phi} \cdot 1,35}{R_h}, \text{ А}$$

Возрастание напряжения прикосновения и силы тока через человека повышает опасность сети с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме по сравнению с нормальным режимом работы.

2.2.3. Двухфазное прикосновение человека

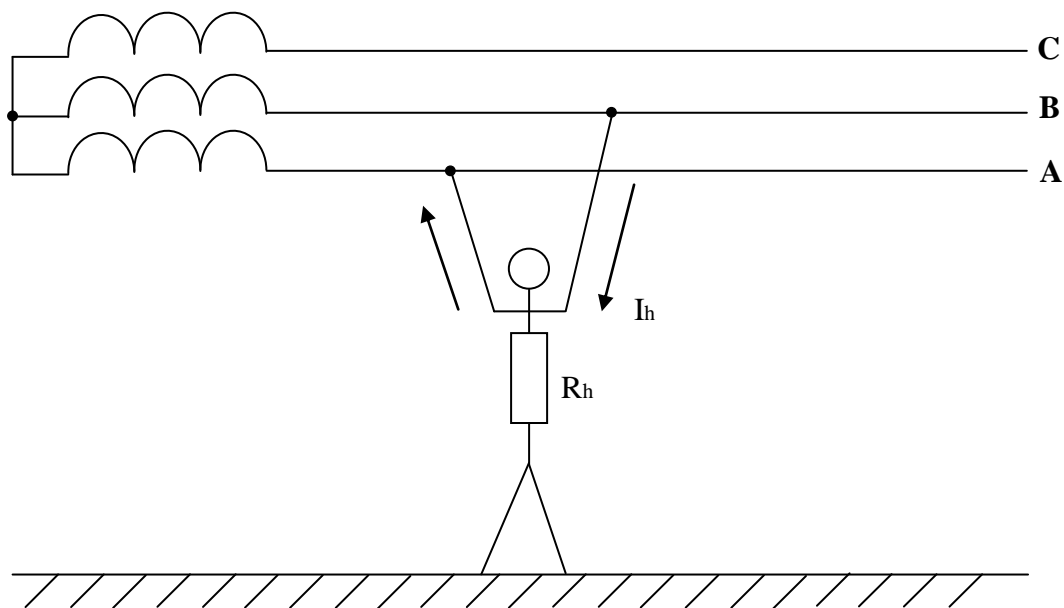


Рисунок 4 – Двухфазное прикосновение человека

Сила тока через человека при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции, а определяется только линейным напряжением и сопротивлением человека:

$$I_h = \frac{U_{л}}{R_h}, \text{ A}$$

При $U_{л} = 380 \text{ В}$, $R_h = 1000 \text{ Ом}$ сила тока через человека $I_h = 380 \text{ мА}$, т.е. смертельна.

2.3. Краткие выводы

Сравнительная оценка двух видов фазных сетей показывает следующее:

1. При однофазном прикосновении в период нормальной работы сети ток через человека определяется:

- в сети с изолированной нейтралью – сопротивлением изоляции и емкостью фаз относительно земли;
- в сети с глухозаземленной нейтралью – только сопротивлением человека.

2. Однофазное прикосновение к сети с изолированной нейтралью с малой емкостью и высоким сопротивлением изоляции безопаснее, чем прикосновение к сети с глухозаземленной нейтралью.

3. Однофазное прикосновение в период аварийной работы сети в сети с изолированной нейтралью опаснее, чем в сети с глухозаземленной нейтралью. Защитная роль изоляции сводится к нулю и резко возрастает ток через челове-

ка.

4. Опасность поражения при двухфазном прикосновении не зависит от режима нейтрали и сопротивления изоляции. Этот случай является наиболее опасным.

3. Описание лабораторной установки

Работа производится на стенде путем моделирования основных параметров исследуемых сетей и определения величины тока, проходящего через человека при его соприкосновении с токоведущими частями. Схема стенда показана на рис. 5. Вместо реально существующих распределенных сопротивлений изоляции и емкостей проводов относительно земли, на стенде предусмотрены сосредоточенные сопротивления и емкости, в целях безопасности при проведении лабораторных работ, стенд подключен к напряжению 24В. Все значения активных и емкостных сопротивлений подобраны таким образом, чтобы получились токи как при $U=220В$, только при безопасном напряжении. В результате на шкалах приборов получают абсолютно такие же значения как при $U=220В$, меняя величину которых, а также соотношение между ними, можно получить сеть с нужными параметрами. Тело человека имитируется в схеме стенда активным сопротивлением, которое может подключаться к каждому проводу сети тумблером. Измерение тока, проходящего через это сопротивление, производится с помощью миллиамперметра с шунтами.

Активные и емкостные сопротивления сети эквивалентные $U=220В$ используемые в работе представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения активных и емкостных сопротивлений сети.

R сети 24 В, Ом	R сети 220В, Ом	C сети 24В, мкФ	C сети 220В, мкФ
$R_{19}= 56$ Ом	513	$C_1=C_5=C_9=2$	18,33
$R_1=R_7=R_{13}= R_{20}= 120$	1100	$C_2=C_6=C_{10}=4$	36,66
$R_2=R_8=R_{14}= 360$	3300	$C_3=C_7=C_{11}=6$	55
$R_3=R_9=R_{15}= R_{21}= 560$	5133	$C_4=C_8=C_{12}=20$	183,33
$R_{22}= 1290$	11825		

Стенд (рисунок 5), на котором выполняется работа, позволяет моделировать трехфазные сети с изолированной нейтралью (тумблер SA_1 отключен) и глухозаземленной нейтралью (тумблер SA_1 включен).

Вместо реально существующих распределенных сопротивлений изоляции и емкости фаз на стенде предусмотрены сосредоточенные сопротивления изоляции R и емкости C, меняя которые можно получить сети с различными параметрами.

Тело человека имитируется активным сопротивлением $R_{19}; R_{20}; R_{21}; R_{22}$; (переключаются тумблерами $SA_{41}; SA_{42}; SA_{43}; SA_{44}$), тумблерами $SA_{35}; SA_{36}; SA_{37}$ меняем фазу прикосновения к сети. Ток через человека измеряется миллиамперметром, рА1.

Стенд позволяет выполнить аварийный режим работы сети, включением тумблера SA₄₅, т.е. замыкание на землю одной фазы, выбранной с помощью тумблеров SA₃₈; SA₃₉; SA₄₀.

Положение тумблеров вверх - «включено», вниз – «выключено».

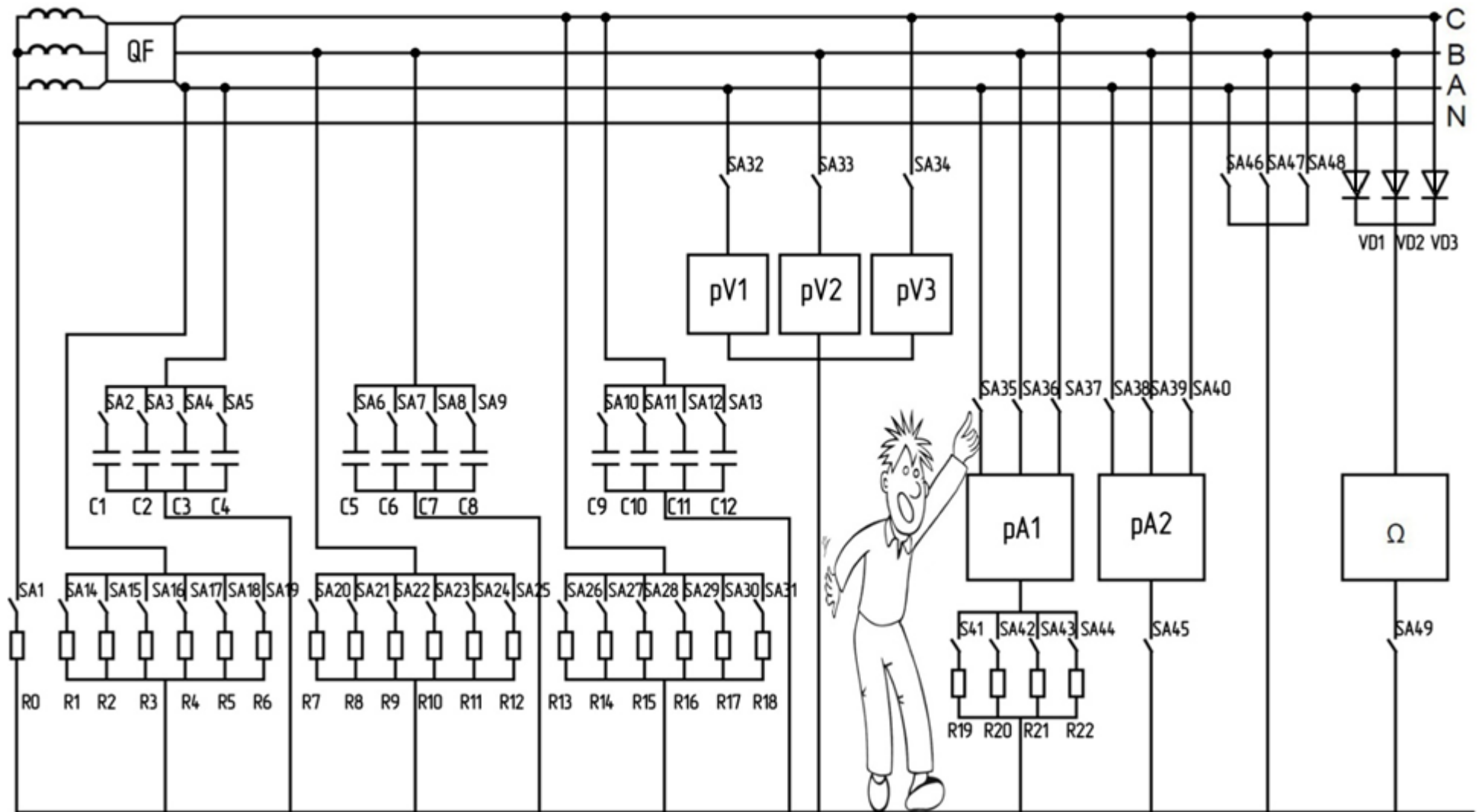


Рисунок 5 –Схема испытательного стенда

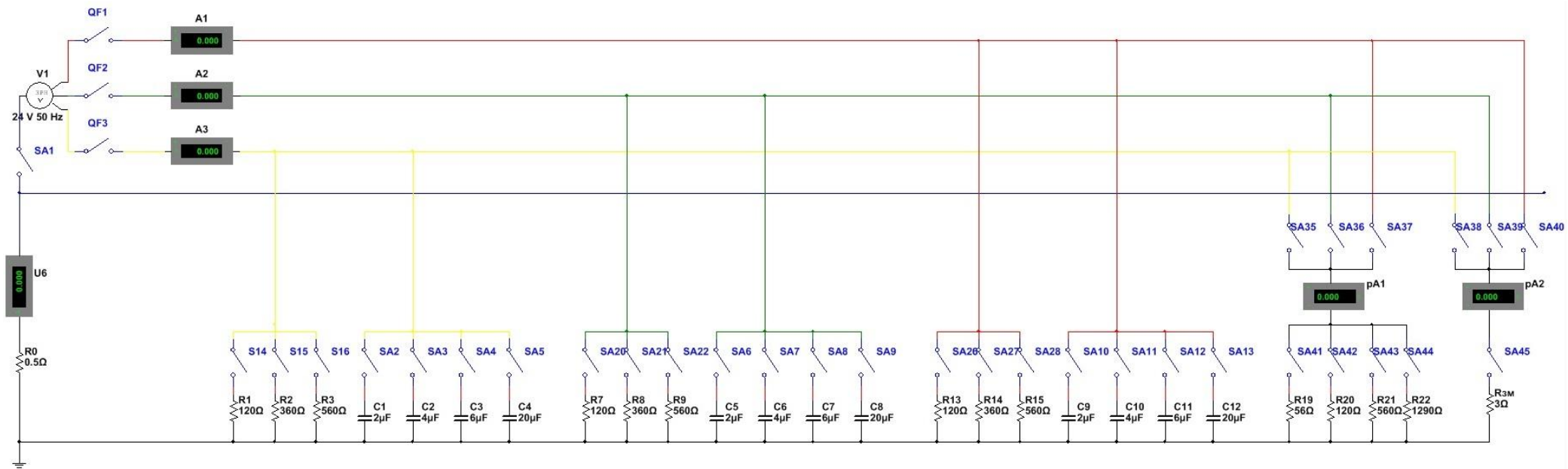


Рисунок 6 – Схема испытательного стенда в среде Multisim

Таблица 2 – Основные величины элементов схемы.

Сопротивление изоляции фаз	Емкость фаз	Сопротивление тела человека (R_h)
$R_1=R_7=R_{13}= 120 \text{ Ом}$ $R_2=R_8=R_{14}= 360 \text{ Ом}$ $R_3=R_9=R_{15}= 560 \text{ Ом}$	$C_1=C_5=C_9=2 \text{ мкФ}$ $C_2=C_6=C_{10}=4 \text{ мкФ}$ $C_3=C_7=C_{11}=6 \text{ мкФ}$ $C_4=C_8=C_{12}=20 \text{ мкФ}$	$R_{19}= 56 \text{ Ом}$ $R_{20}= 120 \text{ Ом}$ $R_{21}= 560 \text{ Ом}$ $R_{22}= 1290 \text{ Ом}$

4. Техника безопасности

4.1. При выполнении данной лабораторной работы необходимо выполнять требования по технике безопасности, общие для лаборатории.

4.2. Внешним осмотром убедиться в исправности состояния испытательного стенда.

4.3. При наличии неисправности испытательный стенд отключить от сети и поставить в известность преподавателя.

5. Задание к работе

Таблица 3

№	Устанавливаемые величины	Варианты		
		1	2	3
1	$R_{1-3}=R_{7-9}=R_{13-15}, \text{ Ом}$ $C_{1-4}=C_{5-8}=C_{9-12}, \text{ мкФ}$ Человек касается фазы	120	560	120
		2	2	2
		A	B	C
2	$R_h, \text{ Ом}$ Человек касается фазы $C_{35}=C_{36}=C_{37}, \text{ мкФ}$	120	560	1290
		A	B	C
		2	2	2
3	$R_h, \text{ Ом}$ Человек касается фазы $R_{35}=R_{36}=R_{37}, \text{ Ом}$	120	560	1290
		A	B	C
		120	560	120
4	$R_{1-3}=R_{7-9}=R_{13-15}, \text{ Ом}$ $C_{1-4}=C_{5-8}=C_{9-12}, \text{ мкФ}$ $R_h, \text{ Ом}$ Человек касается фазы Аварийный режим фазы	120	560	120
		2	2	4
		120	560	120
		A	B	C
		B	C	A

6. Порядок выполнения работы

6.1. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от сопротивления человека.

Включить стенд (загорается сигнальная лампа).

– включить заданные (таблица 2) активные сопротивления и емкости с помощью переключателей $R_{1-3}=R_{7-9}=R_{13-15}$ и $C_{1-4}=C_{5-8}=C_{9-12}$;

– тумблерами SA_{35} ; SA_{36} ; SA_{37} имитировать подключение человека к заданной фазе;

– меняя тумблерами SA_{41} ; SA_{42} ; SA_{43} ; SA_{44} сопротивление человека, записать силу тока для системы с изолированной и глухозаземленной нейтралью. Данные замеров занести в таблицу 4.

6.2. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от активного сопротивления изоляции фазных проводов

– включить заданные емкости фаз $C_{1-4}=C_{5-8}=C_{9-12}$;

– включить заданное сопротивление человека тумблерами SA_{41} ; SA_{42} ; SA_{43} ; SA_{44} ;

– тумблерами SA_{35} ; SA_{36} ; SA_{37} имитировать подключение человека к заданной фазе;

– симметрично изменяя сопротивление изоляции фаз (с помощью переключателей $R_{1-3}=R_{7-9}=R_{13-15}$), записать силу тока через человека в системе с изолированной и глухозаземленной нейтралью. Данные замеров занести в таблицу 3.

6.3. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении к фазному проводу трехфазной сети при нормальном режиме работы сети в зависимости от емкости фазных проводов относительно земли – включить заданные активные сопротивления изоляции переключателями $R_{1-3}=R_{7-9}=R_{13-15}$;

– включить заданное сопротивление человека тумблерами SA_{41} ; SA_{42} ; SA_{43} ; SA_{44} ;

– тумблерами SA_{35} ; SA_{36} ; SA_{37} имитировать подключение человека к заданной фазе;

– симметрично изменяя емкости фаз (с помощью переключателей C_{1-4} ; C_{5-8} ; C_{9-12}), записать силу тока через человека в системе с изолированной и глухозаземленной нейтралью. Данные замеров занести в таблицу 3.

6.4. Анализ опасности поражения человека электрическим током при прикосновении человека к фазному проводу трехфазной сети при аварийном режиме работы сети (замыкание одного из фазных проводов на землю) - включить заданные активные сопротивления и емкости с помощью переключателей R_{1-3} ; R_{7-9} ; R_{13-15} и C_{1-4} ; C_{5-8} ; C_{9-12} ;

– включить заданное сопротивление человека тумблерами SA_{41} ; SA_{42} ; SA_{43} ; SA_{44} ;

– тумблерами SA_{35} ; SA_{36} ; SA_{37} имитировать подключение человека к заданной фазе;

– для нормального режима работы сети записать значение силы тока через человека в системе с изолированной и глухозаземленной нейтралью;

– имитировать аварийный режим работы сети, включив тумблер SA_{45} .

Заданную фазу с помощью тумблеров SA_{38} ; SA_{39} ; SA_{40} замкнуть на землю. Для системы с изолированной и глухозаземленной нейтралью записать силу тока

через человека. Данные замеров занести в таблицу 4.
Отключить стенд от сети.

Таблица 4

	Параметр, влияющий на ток через человека	Ток через человека, мА, при режиме нейтрали	
		изолированная	глухозаземленная
1	Сопротивление человека: $R_{19} =$ $R_{20} =$ $R_{21} =$ $R_{22} =$		
2	Активные сопротивления изоляции: $R_1 = R_7 = R_{13} =$ $R_2 = R_8 = R_{14} =$ $R_3 = R_9 = R_{15} =$		
3	$C_1 = C_5 = C_9 =$ $C_2 = C_6 = C_{10} =$ $C_3 = C_7 = C_{11} =$ $C_4 = C_8 = C_{12} =$		
4	Режим работы сети Нормальный Аварийный		

7. Указания к составлению отчета

Отчет должен включать в себя:

1. цель работы;
2. полученные результаты в виде таблицы;
3. графики зависимости силы тока через человека от:
 - сопротивления человека;
 - активного сопротивления изоляции;
 - емкости фаз;
4. выводы об опасности поражения электрическим током в трехфазных сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью на основании анализа полученных результатов (рисунок 2а);
5. схемы сетей с изолированной и глухозаземленной нейтралью (рисунок 3а);

8. Вопросы для самопроверки

1. Виды электротравм
2. Пороговые значения тока
3. От чего зависит исход поражения электрическим током
4. Какие существуют режимы нейтралей?

5. Какая сеть называется сетью с изолированной нейтралью?
6. Какая сеть называется сетью с глухозаземленной нейтралью?
5. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью
6. Однофазное прикосновение в сети с глухозаземленной нейтралью
7. Двухфазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью
8. Двухфазное прикосновение в сети с глухозаземленной нейтралью
9. Однофазное прикосновение в сети с изолированной нейтралью в аварийном режиме
10. Однофазное прикосновение в сети с глухозаземленной нейтралью в аварийном режиме
11. Как решаются вопросы электробезопасности в сетях с изолированной нейтралью?
12. Достоинства сети с изолированной нейтралью
13. Недостатки сети с изолированной нейтралью
14. Достоинства сети с глухозаземленной нейтралью
15. Недостатки сети с глухозаземленной нейтралью
16. Почему в случаях повышенной опасности поражения людей током применяются сети с изолированным режимом нейтрали?
17. Как определить ток через тело человека, если он прикоснется к фазе электрической сети с изолированным режимом нейтрали с малой емкостью фаз относительно земли и симметричном сопротивлении изоляции?
18. Какие режимы нейтрали электрических сетей используются на предприятиях России?