

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

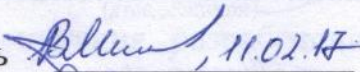
(код и наименование специализации)

Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Средства и системы обеспечения электробезопасности на горных предприятиях». Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Оценка эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях»

(тема)

Пояснительная записка

Руководитель

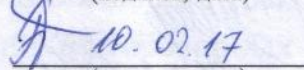
 11.02.17
(подпись, дата)

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

В.А. Меньшиков

(инициалы, фамилия)

Выпускник

 10.02.17
(подпись, дата)

А.С. Рыбец

(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 «Оценка эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях», содержит 83 страницы текстового документа, 12 использованных источников, 5 листов графического материала.

Объектом дипломного проектирования является лабораторная установка для эффективности действия защитного заземления и зануления в трехфазных сетях В процессе работы проведены: Проектирование лабораторной работы; разработка монтажной 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. Ошибка! Источник ссылки не найден.	7
1.1.1 Виды поражения электрическим током	7
1.1.2. Факторы, влияющие на исход поражения человека электрическим током	10
1.2. Меры защиты от поражения электрическим током	12
1.3 Защитное заземление.....	13
1.3.1 Естественные заземлители.....	14
1.3.2 Искусственные заземлители	14
1.4. Зануление.....	15
1.4.1.Область применения зануления:	16
1.4.2 Назначение отдельных элементов схемы зануления.	17
2. Проектирование лабораторной работы «Оценка эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях»	18
2.1 Разработка общего дизайна электрооборудования лаборатории по курсу Оценка электробезопасности.....	18
2.2 Дизайн лаборатории по курсу электробезопасность	19
2.3.Схемы электроснабжения лаборатории	20
2.3.1 Монтаж силового кабеля.....	20
2.3.2 Выбор коммутационных аппаратов по току нагрузки.....	23
2.2.4Расчет и выбор освещения.....	26
2.3. Расположение оборудования в лаборатории	28
2.4 Проектирование и расчет силового трансформатора.	31
3.1 Разработка методического обеспечения «Оценка эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях»	33
3.1.1Описание конструкции стендов.	33
3.1.2. Выбор элементов и оборудования используемых в лабораторном стенде	34
3.2. Создание методического обеспечения и указания для выполнения работы.	47
3.3 Монтажная схема и основные неполадки	59
4 Безопасность жизнедеятельности.....	61

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов цеха.....	61
4.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда	62
4.3 Мероприятия по производственной санитарии.....	63
4.4 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности	64
5.Экономическая часть	65
5.1 Расчет затрат на приобретение электрооборудования	66
5.2Расчет затрат на материалы	67
5.3 Расчет расходов по заработной плате персонала	68
Заключение	71
Список использованных источников.	72
Приложение	73

Введение

На современном этапе развития систем электроснабжения промышленных предприятий, особое внимание уделяется электробезопасности. Под электробезопасностью на производстве подразумевается комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на предотвращение опасного воздействия электрооборудования на работающий персонал и возникновения аварийных ситуаций. Источниками повышенной опасности являются электрические сети, силовые кабели, трансформаторы, электро и радиоаппаратура различного назначения.

Несоблюдение правил и требований электробезопасности может нанести существенный вред здоровью сотрудников предприятия. На человеческий организм негативное влияние оказывают электромагнитные поля, статическое электричество и непосредственно электрический ток. Травмы, полученные при соприкосновении с током высокого напряжения, относятся к разряду особо тяжёлых. Нередко они заканчиваются летальным исходом. Неисправность электрооборудования или неумелое обращение с ним часто приводит к крупным авариям, а также к взрывам и пожарам при наличии поблизости от него взрывоопасных и легко воспламеняемых веществ.

Почти 65% всех травм, получаемых на производстве от электрического тока, связаны с работой на установках с напряжением до 1000 В. Часто из-за нехватки кадров на них работают лица с недостаточной подготовкой и квалификацией. Две трети подобных травм заканчиваются обширными ожогами и поражениями внутренних тканей.

Одним из главных требований электробезопасности является обязательное заземление оборудования. Защитное заземление позволяет снизить разность потенциалов между открытыми металлическими частями до неопасной для организма человека разности потенциалов. По возможности всё оборудование переводится на использование сверхнизких напряжений до 50 В.

Для предотвращения аварий и внештатных ситуаций предусматривается система экстренного снижения напряжения в сети и отключения электрического тока. Для снижения опасности поражения в протяжённых электрических сетях с напряжением до 1000 В используется защитное разделение сетей. Все работы на электроустановках должны проводиться только с изолированными инструментами.

Электротравматизм по сравнению с другими видами производственного травматизма составляет небольшой процент, однако, по числу травм с тяжёлым и особенно летальным исходом занимает одно из первых мест.

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

1.1. Ошибка! Источник ссылки не найден.

Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает биологическое, электролитическое, тепловое и механическое действие.

Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении тканей и органов. Вследствие этого наблюдаются судороги скелетных мышц, которые могут привести к остановке дыхания, отрывным переломам и вывихам конечностей, спазму голосовых связок.

Электролитическое действие тока проявляется в электролизе (разложении) жидкостей, в том числе и крови, а также существенно изменяет функциональное состояние клеток.

Тепловое действие электрического тока приводит к ожогам кожного покрова, а также гибели подкожных тканей, вплоть до обугливания.

Механическое действие тока проявляется в расслоении тканей и даже отрывах частей тела.

Различают два основных вида поражения организма: электрические травмы и электрические удары. Часто оба вида поражения сопутствуют друг другу. Тем не менее, они различны и должны рассматриваться отдельно.

1.1.1 Виды поражения электрическим током

Электрические травмы – это чётко выраженные местные нарушения целостности тканей организма, вызванные воздействием электрического тока или электрической дуги. Обычно это поверхностные повреждения, то есть поражения кожи, а иногда других мягких тканей, а также связок и костей.

Опасность электрических травм и сложность их лечения обуславливаются характером и степенью повреждения тканей, а также реакцией организма на это повреждение. Обычно травмы излечиваются, и работоспособность пострадавшего восстанавливается полностью или частично. Иногда (обычно при тяжёлых ожогах) человек погибает. В таких случаях непосредственной причиной смерти является не электрический ток, а местное повреждение организма, вызванное током. Характерные виды электротравм - электрические ожоги, электрические знаки, металлизация кожи, электроофтальмия и механические повреждения.

Электрические ожоги - наиболее распространенные электротравмы. Они составляют 60-65 %, причем 1/3 их сопровождается другими электротравмами.

Различают ожоги: токовый (контактный) и дуговой.

Контактные электроожоги, т.е. поражения тканей в местах входа, выхода и на пути движения электротока возникают в результате контакта человека с токоведущей частью. Эти ожоги возникают при эксплуатации элект-

роустановок относительно небольшого напряжения (не выше 1 -2 кВ), они сравнительно легкие.

Дуговой ожог обусловлен воздействием электрической дуги, создающей высокую температуру. Дуговой ожог возникает при работе в электроустановках различных напряжений, часто является следствием случайных коротких замыканий в установках от 1000 В до 10 кВ или ошибочных операций персонала. Поражение возникает от перемены электрической дуги или загоревшейся от неё одежды.

Могут быть также комбинированные поражения (контактный электроожог и термический ожог от пламени электрической дуги или загоревшейся одежды, электроожог в сочетании с различными механическими повреждениями, электроожог одновременно с термическим ожогом и механической травмой).

Электрические знаки представляют собой четко очерченные пятна серого или бледно-желтого цвета на поверхности кожи человека, подвергнувшегося действию тока. Знаки имеют круглую или овальную форму с углублением в центре. Они бывают в виде царапин, небольших ран или ушибов, бородавок, кровоизлияний в коже и мозолей. Иногда их форма соответствует форме токоведущей части, к которой прикоснулся пострадавший, а также напоминает форму морщин.

В большинстве случаев электрические знаки безболезненны, и их лечение заканчивается благополучно: с течением времени верхний слой кожи и пораженное место приобретают первоначальный цвет, эластичность и чувствительность. Знаки возникают примерно у 20 % пострадавших от тока.

Металлизация кожи - проникновение в ее верхние слои частичек металла, расплавившегося под действием электрической дуги. Это возможно при коротких замыканиях, отключениях разъединителей и рубильников под нагрузкой и т.п.

Пораженный участок имеет шероховатую поверхность, окраска которой определяется цветом соединений металла, попавшего под кожу: зеленая - при контакте с медью, серая - с алюминием, сине-зеленая - с латунью, желто-серая - со свинцом. Обычно с течением времени больная кожа сходит и пораженный участок приобретает нормальный вид. Вместе с тем исчезают и все болезненные ощущения, связанные с этой травмой.

Металлизация кожи наблюдается примерно у каждого десятого из пострадавших. Причём в большинстве случаев одновременно с металлизацией происходит ожог электрической дугой, который почти всегда вызывает более тяжёлые поражения.

Электроофтальмия – воспаление наружных оболочек глаз в результате воздействия мощного потока ультрафиолетовых лучей, вызывающих в клетках организма химические изменения. Такое облучение возможно при наличии электрической дуги (например, при коротком замыкании), которая является источником интенсивного излучения не только видимого света, но и ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. Электроофтальмия возникает

сравнительно редко (у 1-2 % пострадавших), чаще всего при проведении электросварочных работ.

Механические повреждения являются следствием резких, непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием тока, проходящего через человека. В результате могут произойти разрывы кожи, кровеносных сосудов и нервной ткани, а также вывихи суставов и даже переломы костей. Эти повреждения являются, как правило, серьёзными травмами, требующими длительного лечения. К счастью они возникают редко – не более чем у 3 % пострадавших от тока.

Электрический удар – это возбуждение живых тканей электрическим током, проходящим через организм, сопровождающееся непроизвольными судорожными сокращениями мышц. В зависимости от исхода отрицательного воздействия тока на организм электрические удары могут быть условно разделены на следующие четыре степени:

I - судорожное сокращение мышц без потери сознания;

II - судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимся дыханием и работой сердца;

III - потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (либо того и другого вместе);

IV - клиническая смерть, то есть отсутствие дыхания и кровообращения.

Клиническая (или «мнимая») смерть – переходный период от жизни к смерти, наступающей с момента прекращения деятельности и лёгких. У человека, находящегося в состоянии клинической смерти, отсутствуют все признаки жизни, он не дышит, сердце его не работает, болевые раздражения не вызывают никаких реакций, зрачки глаз расширены и не реагируют на свет. Однако в этот период жизнь в организме ещё полностью не угасла, ибо ткани его умирают не сразу и не сразу угасают функции различных органов.

Первыми начинают погибать очень чувствительные к кислородному голоданию клетки головного мозга, с деятельностью которого связаны сознание и мышление. Поэтому длительность клинической смерти определяется временем с момента прекращения сердечной деятельности и дыхания до начала гибели клеток коры головного мозга; в большинстве случаев она составляет 4-5 мин, а при гибели здорового человека от случайной причины, например, от электрического тока, - 7-8 мин.

Биологическая (или истинная) смерть – необратимое явление, характеризующееся прекращением биологических процессов в клетках и тканях организма и распадом белковых структур; она наступает по истечении периода клинической смерти.

Причинами смерти от электрического тока могут быть прекращение работы сердца, прекращение дыхания и электрический шок.

Прекращение сердечной деятельности является следствием воздействия тока на мышцу сердца. Такое воздействие может быть прямым, когда ток протекает непосредственно в области сердца, и рефлекторным, то есть

через центральную нервную систему, когда путь тока лежит вне этой области. В обоих случаях может произойти остановка сердца или наступить его фибрилляция, то есть хаотически быстрые и одновременные сокращения волокон (фибрилл) сердечной мышцы, при которых сердце перестаёт работать как насос, в результате чего в организме прекращается кровообращение.

Прекращение дыхания как первопричина смерти от электрического тока вызывается непосредственным или рефлекторным воздействием тока на мышцы грудной клетки, участвующие в процессе дыхания. Человек начинает испытывать затруднения дыхания уже при токе 20-25 мА (50 Гц), усиливающиеся с ростом тока. При длительном действии тока может наступить асфиксия – удушье в результате недостатка кислорода и избытка углекислоты в организме.

Электрический шок – своеобразная тяжёлая нервно-рефлекторная реакция организма в ответ на сильное раздражение электрическим током, сопровождающаяся опасными расстройствами кровообращения, дыхания, обмена веществ и т.п. Шоковое состояние длится от нескольких десятков минут до суток. После этого может наступить или гибель организма в результате полного угасания жизненно важных функций или полное выздоровление как результат своевременного активного лечебного вмешательства.

1.1.2. Факторы, влияющие на исход поражения человека электрическим током

Факторы, определяющие исход воздействия электрического тока. Раздражающее действие электрического тока промышленной частоты (50 Гц) ощущается уже при силе тока 1 мА (0,001 А).

Для постоянного тока эта величина повышается до 5 мА. Приведенные величины переменного и постоянного тока называют пороговыми ощутимыми токами. Они практически не представляют особой опасности для человека, потому что при слабом начальном раздражении он сохраняет за собой способность немедленно и без посторонней помощи освободиться от токоведущих частей оборудования или электрической сети.

При воздействии на человека переменного тока силой 5—10 мА его раздражающее действие становится более сильным. У человека появляются судороги и весьма неприятная боль. При токе 10—15 мА боль становится трудно переносимой, судороги мышц рук и ног человека усиливаются настолько, что он не в состоянии самостоятельно освободиться от токоведущих частей оборудования или электрической сети. Токи силой в 10—15 мА называют *неотпускающими*.

Переменный ток промышленной частоты 25 мА и выше воздействует на человека еще более значительно, он парализует мышцы не только рук и ног, но и грудной клетки, существенно затрудняя дыхание человека. Ток в 50 мА может быстро остановить дыхание, а переменный ток в 100 мА (0,1 А) за очень короткое время (от сотых долей секунды до 1—2 с) поражает сердеч-

ную мышцу, вызывая фибрилляцию сердца (т. е. беспорядочное его трепетание), при котором кровообращение прекращается и наступает смерть.

Приведенные числовые значения токов весьма приближенны, так как исход поражения человека электрическим током существенно зависит от состояния его здоровья, факторов времени и окружающей среды и других причин. Наблюдались случаи, когда очень тяжелые и даже смертельные поражения человека наступали при воздействии на него токов очень малой величины, например всего в 4 мА.

Степень поражения человека электрическим током существенно зависит также от пути, по которому проходит ток в теле человека, т. е. от расположения на его теле точек, которые оказались в соприкосновении с токоведущими элементами электрической сети. Наиболее опасными являются токи, проходящие через сердце, мышцы грудной клетки, головной и спинной мозг. Однако и это утверждение является весьма условным, так как проходящие через тело человека токи часто идут не по кратчайшему пути, а разветвляются по самым различным направлениям и поэтому становятся опасными при любой системе соприкосновения человека с токоведущими элементами сетей. Наблюдались случаи, когда тяжелые и даже смертельные поражения человека наступали при прохождении тока с одной стороны пальца на другую.

Согласно закону Ома величина тока в электрической цепи прямо пропорциональна приложенному к ней напряжению и обратно пропорциональна величине включенного в цепь сопротивления (в нашем случае обратно пропорциональна сопротивлению тела человека). Тщательные исследования показали, что величина электрического сопротивления человеческого тела не является постоянной величиной, она существенно зависит от многих обстоятельств. Так, если ток проходит по системе рука — рука, то при сухой ладони рук, имеющей более толстый и твердый ороговевший слой кожи, сопротивление тела человека составляет 20—50 кОм. При увлажнении рук сопротивление тела току, идущему по тому же пути, составит уже всего 800—1000 Ом, т. е. сопротивление уменьшится в несколько десятков раз. Еще более уменьшается сопротивление тела человека при наличии на коже поврежденных (ран или царапин).

В последнем случае электрическое сопротивление тела человека падает примерно до 100 Ом. Это очень важное обстоятельство, так как даже при самом незначительном повреждении кожи величина тока, проходящего через тело человека, достигает величин, при которых возможен смертельный исход. Так, при определенных неблагоприятных условиях величина тока от промышленной (и бытовой) сети 220 В может достигнуть 2,2 А ($220: 100 = 2,2$). Эта величина уже более чем в две тысячи раз превышает минимальное пороговое значение тока (0,001 А), которое только и можно с достаточной уверенностью считать безопасным для человека.

1.2. Меры защиты от поражения электрическим током

Согласно требованиям нормативных документов, безопасность электроустановок обеспечивается следующими основными мерами:

- 1) недоступностью токоведущих частей;
- 2) надлежащей, а в отдельных случаях повышенной (двойной) изоляцией;
- 3) заземлением или занулением корпусов электрооборудования и элементов электроустановок, могущих оказаться под напряжением;
- 4) надежным и быстродействующим автоматическим защитным отключением;
- 5) применением пониженных напряжений (42 В и ниже) для питания переносных токоприемников;
- 6) защитным разделением цепей;
- 7) блокировкой, предупредительной сигнализацией, надписями и плакатами;
- 8) применением защитных средств и приспособлений;
- 9) проведением планово-предупредительных ремонтов и профилактических испытаний электрооборудования, аппаратов и сетей, находящихся в эксплуатации;
- 10) проведением ряда организационных мероприятий (специальное обучение, аттестация и переаттестация лиц электротехнического персонала, инструктажи и т.д.).

Для обеспечения электробезопасности на предприятиях мясной и молочной промышленности применяют следующие технические способы и средства защиты: защитное заземление, зануление, применение малых напряжений, контроль изоляции обмоток, средства индивидуальной защиты и предохранительные приспособления, защитные отключающие устройства. Малое напряжение - напряжение не более 42 В, применяемое в целях уменьшения опасности поражения электрическим током. Малые напряжения переменного тока получают с помощью понижающих трансформаторов. Его применяют при работе с переносным электроинструментом, при использовании переносных светильников во время монтажа, демонтажа и ремонта оборудования, а также в схемах дистанционного управления.

Изолирование рабочего места – это комплекс мероприятий по предотвращению возникновения цепи тока человек-земля и увеличению значения переходного сопротивления в этой цепи. Данная мера защиты применяется в случаях повышенной опасности поражения электрическим током и обычно в комбинации с разделительным трансформатором.

Выделяют следующие виды изоляции:

рабочая – электрическая изоляция токоведущих частей электроустановки, обеспечивающая её нормальную работу и защиту от поражения электрическим током;

дополнительная – электрическая изоляция, предусмотренная дополни-

тельно к рабочей изоляции для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения рабочей изоляции;

двойная – электрическая изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной изоляции. Двойная изоляция заключается в одном электроприёмнике двух независимых одна от другой ступеней изоляции (например, покрытие электрооборудования слоем изоляционного материала - краской, пленкой, лаком, эмалью и т.п.). Применение двойной изоляции наиболее рационально, когда в дополнение к рабочей электрической изоляции токоведущих частей корпус электроприёмника изготавливается из изолирующего материала (пластмассы, стекловолокна).

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

Оно должно обеспечить автоматическое отключение электроустановок при однофазном (однополюсном) прикосновении к частям, находящимся под напряжением, не допустимым для человека, и (или) при возникновении в электроустановке тока утечки (замыкания), превышающего заданные значения.

Защитное отключение рекомендуется в качестве основной или дополнительной меры защиты, если безопасность нельзя обеспечить при заземлении или занулении, либо если заземление или зануление трудно выполнимо, либо нецелесообразно по экономическим соображениям. Устройства (аппараты) для защитного отключения в отношении надежности действия должны удовлетворять специальным техническим требованиям.

Средства индивидуальной защиты делятся на изолирующие, вспомогательные и ограждающие.

Изолирующие защитные средства обеспечивают электрическую изоляцию человека от токоведущих частей и земли. Они подразделяются на основные (диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными рукоятками) и дополнительные (диэлектрические галоши, коврики, подставки)

К вспомогательным можно отнести очки, противогазы, маски, предназначенные для защиты от световых, тепловых и механических воздействий.

К ограждающим относятся переносные щиты, клетки, изолирующие подкладки, переносные заземления и плакаты. Они предназначены в основном для временного ограждения токоведущих частей, к которым возможно прикосновение работающих.

1.3 Защитное заземление

Защитное заземление - это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей электрического и технологического оборудования, которые могут оказаться под напряжением. Защитное заземление является простым, эффективным и широко распространенным способом защиты человека от поражения электриче-

ским током при прикосновении к металлическим поверхностям, оказавшимся под напряжением. Обеспечивается это снижением напряжения между оборудованием, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасной величины. Применяется в трехфазной трехпроводной сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и выше 1000 В -с любым режимом нейтрали.

Конструктивными элементами защитного заземления являются заземлители - металлические проводники, находящиеся в земле, и заземляющие проводники, соединяющие заземляемое оборудование с заземлителем

1.3.1 Естественные заземлители

В качестве естественных заземлителей могут применяться:

1)расположенные под землей водопроводные и другие металлические трубопроводы, за исключением трубопроводов горючих жидкостей, а также горючих или взрывоопасных газов;

2)металлические конструкции зданий и сооружений, имеющие соединение с землей;

3)обсадные трубы, металлические шпунты гидротехнических сооружений; свинцовые оболочки кабелей, проложенных под землей.

Естественные заземлители необходимо связывать с заземляющей сетью не менее чем двумя проводниками, присоединенными к заземлителю в разных местах. Если естественные заземлители обеспечивают требуемое сопротивление заземления, то устройство дополнительного искусственного заземления не требуется.

1.3.2 Искусственные заземлители

В качестве искусственных заземлителей могут применяться:

- 1) вертикально забитые стальные трубы длиной 2-3 м и диаметром 25-62 мм;
- 2) стальные прутки диаметром 10-12 мм, стальные уголки 60 X 60 мм и близкие к ним;горизонтально уложенные стальные полосы и круглые проводники и др.

Сопротивление заземляющего устройства для установок напряжением до 1000 В должно быть не более 4 Ом; если мощность источника тока меньше 100 кВа, то допускается 10 Ом.

Следует отличать защитное заземление от рабочего заземления, представляющего собой специально выполненное металлическое соединение с землей токоведущих частей установки. Рабочее заземление предназначается для предотвращения повышения напряжения в установке при повреждении изоляции обмоток трансформатора, при замыкании одного из проводов на землю или для обеспечения быстрого отключения поврежденной части уста-

новки. Рабочее заземление выполняется, так же как и защитное, в случаях, когда оно необходимо для работы самой установки, например заземление радиоустановки, молниеотводов и т. п. Защитное же заземление служит исключительно для защиты людей от опасности поражения током.

При наличии защитного заземления ток, перешедший вследствие пробоя изоляции на нетоковедущие элементы установки или оборудования, при прикосновении к ним человека пойдет не только через его тело, но и через заземляющее устройство в землю, и далее, вследствие несовершенства изоляции и наличия емкости проводов сети относительно земли, к двум другим фазам.

Безопасность будет достигнута, если напряжение, под которым человек может оказаться, прикасаясь к заземленным установкам (напряжение прикосновения) или только стоя на земле, не прикасаясь к установкам (шаговое напряжение), не будет превышать длительно допустимых значений напряжений. Благодаря устройству защитного заземления человек, находясь вблизи заземленного электрооборудования, имеющего замыкание на корпус, и касаясь корпуса, окажется под воздействием только части полного напряжения, под которым относительно земли находится поврежденное электрооборудование. Это напряжение называется напряжением прикосновения. Оно равно разности между напряжением, имеющимся на корпусе поврежденного электрооборудования, и напряжением на поверхности земли (пола), где находятся ноги человека

1.4. Зануление

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

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

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

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

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

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

1.4.1.Область применения зануления:

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

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

электроустановки напряжением до 1 кВ в сетях постоянного тока с заземленной средней точкой источника.

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

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

В качестве максимальной токовой защиты, обеспечивающей быстрое

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

1.4.2 Назначение отдельных элементов схемы зануления.

для схемы зануления необходимы нулевой защитный проводник, глухое заземление нейтрали источника тока и повторное заземление нулевого защитного проводника.

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

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

Повторное заземление нулевого защитного проводника практически не влияет на время отключения электроустановки от сети. Однако, при эксплуатации зануления могут возникнуть такие ситуации, когда повторное заземление нулевого защитного проводника необходимо, например, при обрыве нулевого защитного проводника. При применении системы TN рекомендуется выполнять повторное заземление PE – и PEN – проводников на вводе в электроустановки зданий, а также в других доступных местах. Для повторного заземления нулевых защитных проводников следует в первую очередь использовать естественные заземлители. В этом случае сопротивление растеканию тока заземлителя повторного заземления не нормируется. Внутри больших и многоэтажных зданий аналогичную функцию выполняет уравнивание потенциалов посредством присоединения нулевого защитного проводника к главной заземляющей шине.

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

Надежность зануления определяется в основном надежностью нулевого защитного проводника. В связи с этим требуется тщательная прокладка

нулевого защитного проводника, чтобы исключить возможность его обрыва. Кроме того, в нулевом защитном проводнике запрещается ставить выключатели, предохранители и другие приборы, способные нарушить его целостность.

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

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

2. Проектирование лабораторной работы «Оценка эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях»

2.1 Разработка общего дизайна электрооборудования лаборатории по курсу Оценка электробезопасности

Проанализировав меры защиты для повышения электробезопасности промышленного оборудования, было выявлено то что основными средствами защиты являются защитное заземление, и зануление электрооборудования, для автоматического отключения фазы, на которой произошел пробой изоляции. На основании этого было принято изготовить лабораторный стенд, для наглядного исследования эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях напряжением до 1000 В с изолированной и заземлённой нейтралью.

Лаборатория по курсу электробезопасность расположена в аудитории 309а, в учебном корпусе. Она отгорожена перегородками из ПВХ материала с вставками из прозрачного стекла, для четкого секционирования учебной зоны от зоны расположения лабораторных стендов. ПВХ материал для изготовления перегородок имеет сертификат соответствия экологическим нормам, полностью безопасен в использовании и является пожаробезопасным. Размер лаборатории 2600*6000мм.

На рисунке 1.1 представлен внешний вид перегородки лаборатории по курсу электробезопасности



Рисунок 1.1 – Аудитория №309а

2.2 Дизайн лаборатории по курсу электробезопасность

Внешний вид лаборатории по курсу электробезопасность и лаборатории по курсу релейная защита, в аудитории №309а, приведен на рисунке 1.2

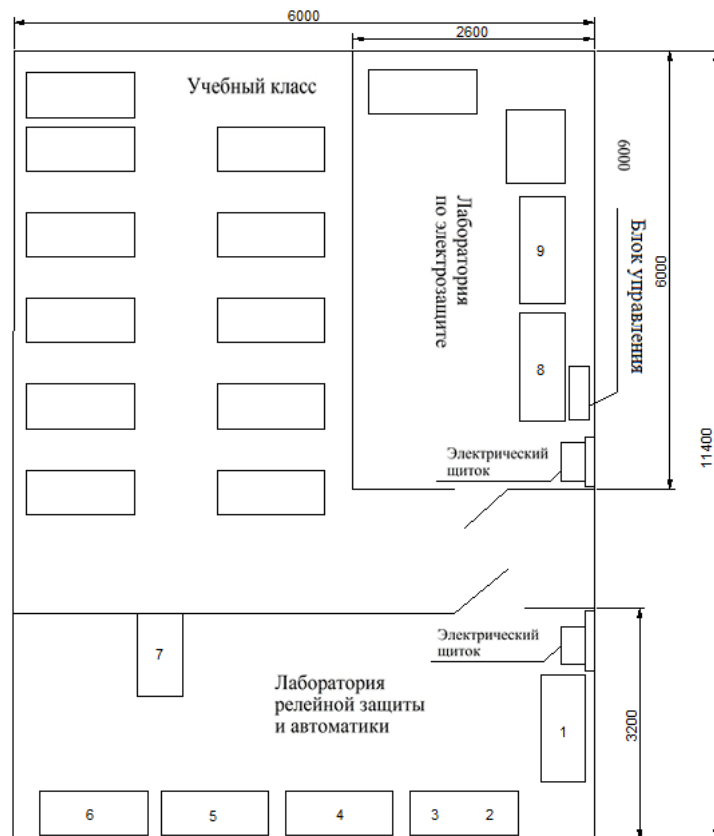


Рисунок 1.2 – Расположение оборудования лаборатории по курсу ре-

лейная защита и лаборатории по курсу электробезопасность в аудитории 309а

- 1 - Стенд «Микропроцессорной защиты электродвигателя»;
- 2 - Стенд «Исследования максимальной токовой защиты с выдержкой времени и без выдержки времени»;
- 3- Стенд «Проверка селективности по времени защит от перегрузки и токов короткого замыкания»;
- 4- Стенд «Автоматический ввод резервных источников питания и обору- рования»;
- 5- Стенд «Автоматическое повторное включение»;
- 6- Стенд «Исследование максимальной токовой защиты, токовой от- сечки и дифференциальной защиты в многоступенчатых сетях напряжением 6-10кВ»;
- 7- Стол преподавателя.
- 8- Оценка эффективности действия защитного заземления и зануления в трехфазных сетях
- 9- «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках».

2.3.Схемы электроснабжения лаборатории

2.3.1 Монтаж силового кабеля

Электроснабжение стендов в лаборатории электробезопасности осу- ществляется от сети 24 В.

Лаборатория оборудована электрическим распределительным щитком ЩРН-П-18, питание которого осуществляется с первого этажа кабелем КГ 4х4 проложенному по внешнему фасаду здания в трубе гофрированной ПНД (-40°С), заведенным через внешнюю стену в аудиторию 309а. Внутри лабора- тории кабель уложен в кабель-каналы 40х40 и 16х25. План монтажа силового кабеля приведен на рисунке 2.1.

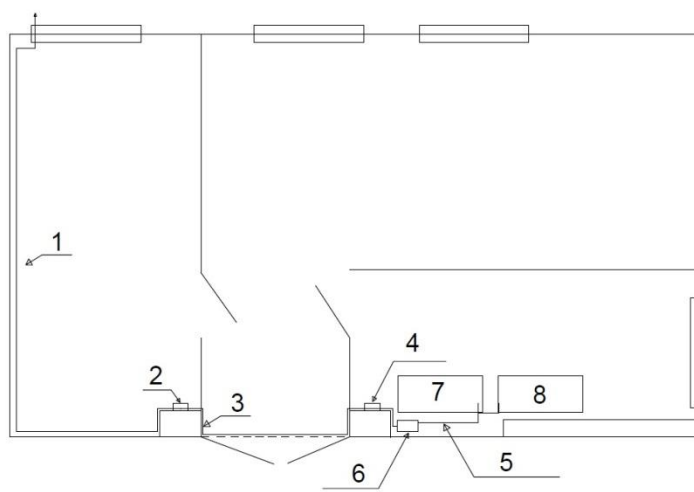


Рисунок 2.1 - План монтажа силового кабеля

- 1 - Кабель канал 40*40
- 2 - Распределительный электрический щиток
- 3 - Кабель канал 16*25
- 4 - Электрический щиток
- 5 - Кабель ВВГ 5*15
- 6 – силовой трансформатор 0,4/0.04
- 7- Лабораторный стенд “Оценка эффективности действия защитного заземления и зануления в трехфазных сетях”
- 8- Лабораторный стенд «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

На рисунке 2.2 показан смонтированный кабель-канал в лаборатории по курсу релейная защита.



Рисунок 2.2 - Кабель-канал 40x40 в лаборатории по курсу релейная защита

На рисунках 2.3 и 2.4 показаны смонтированный кабель-канал 16x25 и распределительный щит в лаборатории по курсу электробезопасность.



Рисунок 2.3 – Кабель-канал 16x25 в лаборатории по курсу электробезопасность.



Рисунок 2.4 – Монтаж кабель-канала 16x25 и распределительного щита в лаборатории по курсу электробезопасность.

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

2.3.2 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 P, кВт	Номинальная мощность общая P, кВт	Коэффициент мощности трансформатора cosφ	Коэффициент реактивной мощности трансформатора tgφ
Стенд №1	1	0,3	0,3	0,7	1,02
Трансформатор 0,22/0,024кВ	3	0.33	1	0,7	1,02

Окончание таблицы 2.1

Электроприемники	Кол-во	Расчетная активная мощность, P _p , кВт	Расчетная реактивная мощность Q _p , квар	Полная расчетная мощность S _p , кВА	Расчетный ток I _p , А
Стенд №1	1	0,3	0,05	0,43	11
Трансформатор 0,22/0,024кВ	3	0,7	0,204	0,3025	1,5

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_p допустимый ток в проводнике I_{np} определяется из выражения:

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

где I_{дл} – табличное значение длительного допустимого тока в проводнике, K_n – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки проводов и кабелей [9, табл. П4.4-П4.6 с. 207].

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

$$I_{np} \geq k_3 \cdot I_{c.3} \quad (2.2)$$

где k_3 – коэффициент защиты [9, 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 $I_{np} \geq k_3 \cdot I_{c.3}$ А
Стенд №1	11	ВА47-29 3P	10	1	10
Трансформатор 0,22/0,024кВ	1,5	ВА47-29 3P	16	1	16
Щит ЩРН-8	16	ВА 47-29 3P	16	1	16

Окончание таблицы 2.2

Характеристика условий прокладки	Поправочный коэффициент на условия прокладки, K_p	Расчетный ток $I_{np} = K_p \cdot I_{дл}$, А	Допустимый ток при нормальных условиях, $I_{дл}$, А	Марка кабеля	Сечение и количество жил
в коробе +25°C, Пучком 1 кабель	0,75	12	2	ВВГ	5x1,5

На рисунке 2.5 приведена однолинейная схема электроснабжения по курсу «Электробезопасность»

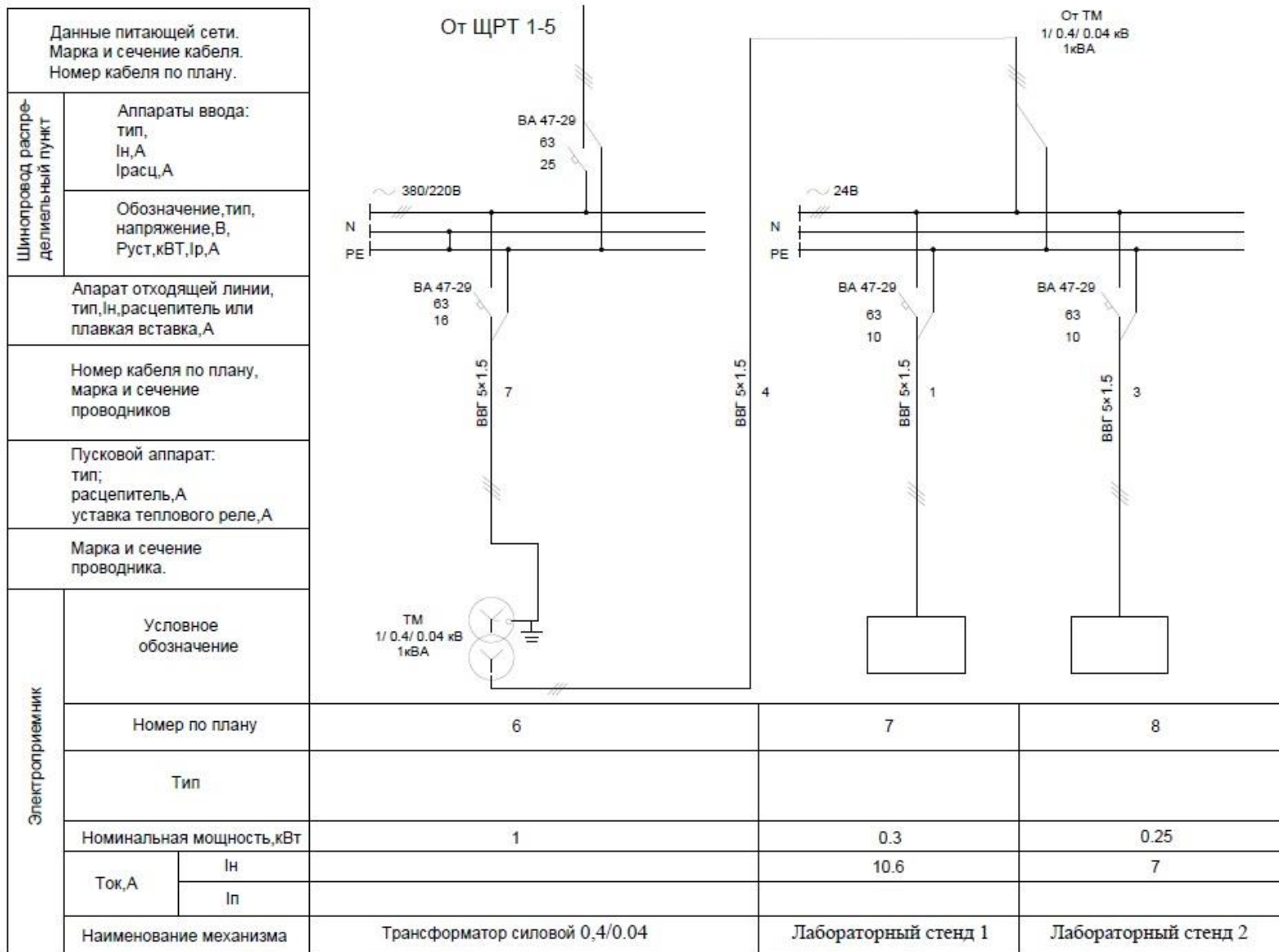


Рисунок 2.5 – однолинейная схема электроснабжения по курсу «Электробезопасность»

На рисунке 2.6 представлен внешний вид распределительного щита в лаборатории по курсу электробезопасность.



Рисунок 2.6 – Внешний вид распределительного щита в лаборатории по курсу электробезопасность.

2.2.4 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 300 лк [10]. 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 2.7.

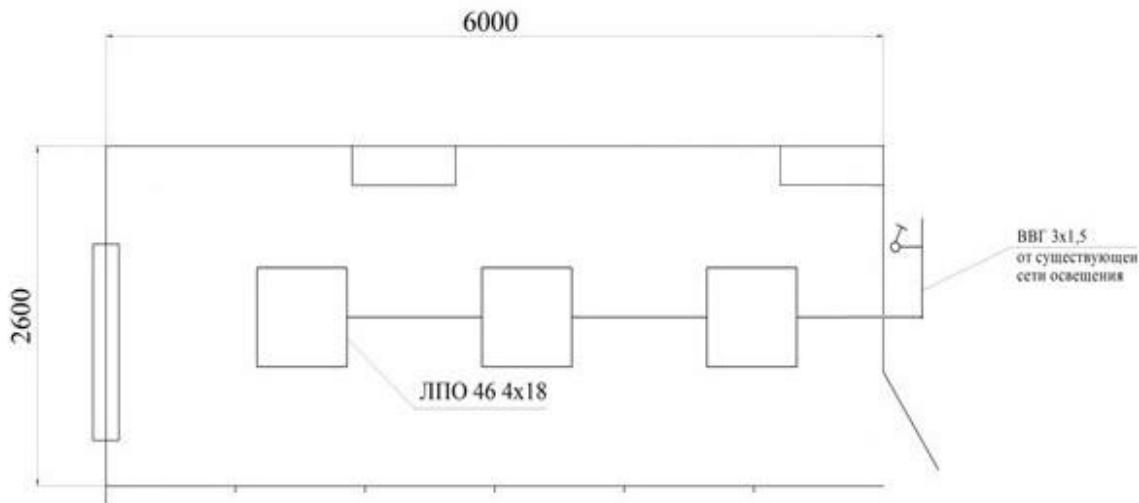


Рисунок 2.7. План расположения светильников ЛПО46 4x18 в лаборатории

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, h_{pn} - высота рабочей поверхности.

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.

Определяем тип кривой силы света светильника:

Тип кривой силы света - Д [10, табл.5.28 с.127].

Определяем коэффициент использования светового потока:

$K_u = 0,45$ [, табл.6.4 с.141]

Определяем коэффициент запаса $K_z = 1,5$ [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 $F_{л} = 880$ лм.

2.3. Расположение оборудования в лаборатории

Схема расположения оборудования в лаборатории электробезопасности приведена на рисунке 2.8.

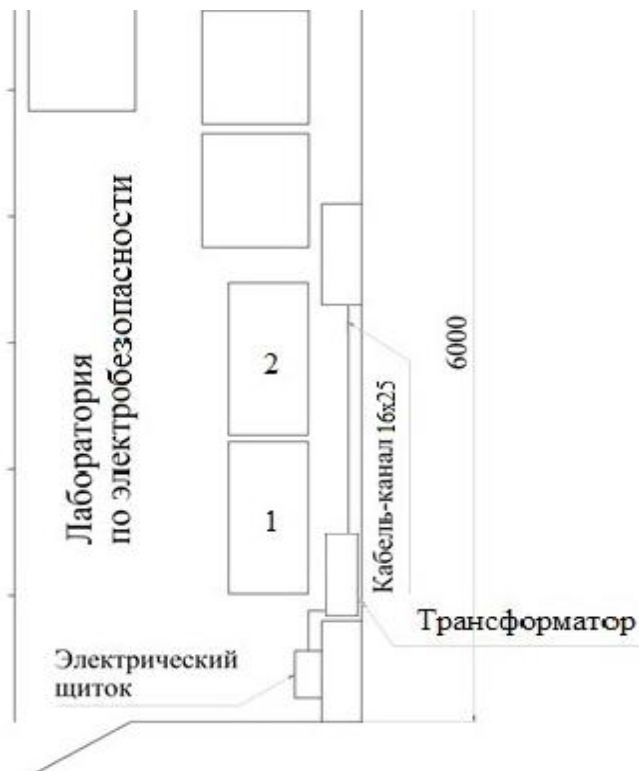


Рисунок 2.8. Расположение оборудования в лаборатории

В лаборатории по курсу электробезопасность, показанной на рисунке 2.8, расположены стенды:

1) Стенд «Оценка эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях» и «Оценка эффективности защитного зануления в трехфазных сетях»

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

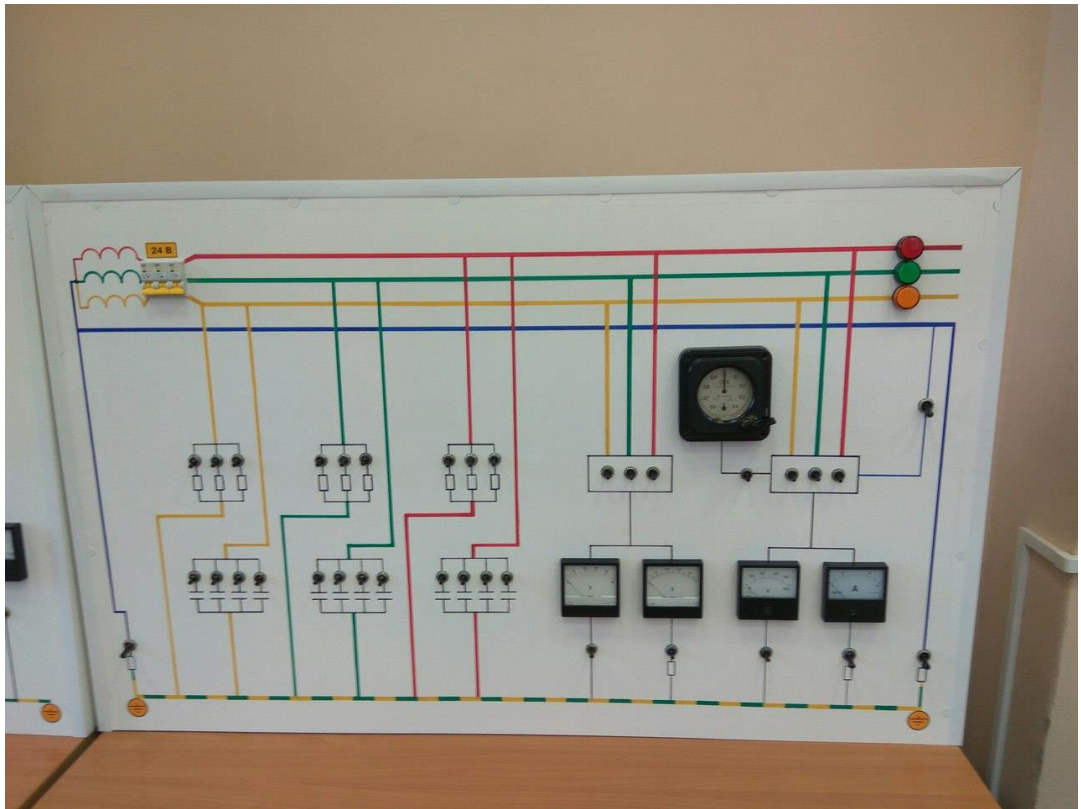


Рисунок 2.9 – Стенд «Оценка эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях» и «Оценка эффективности защитного зануления в трехфазных сетях»

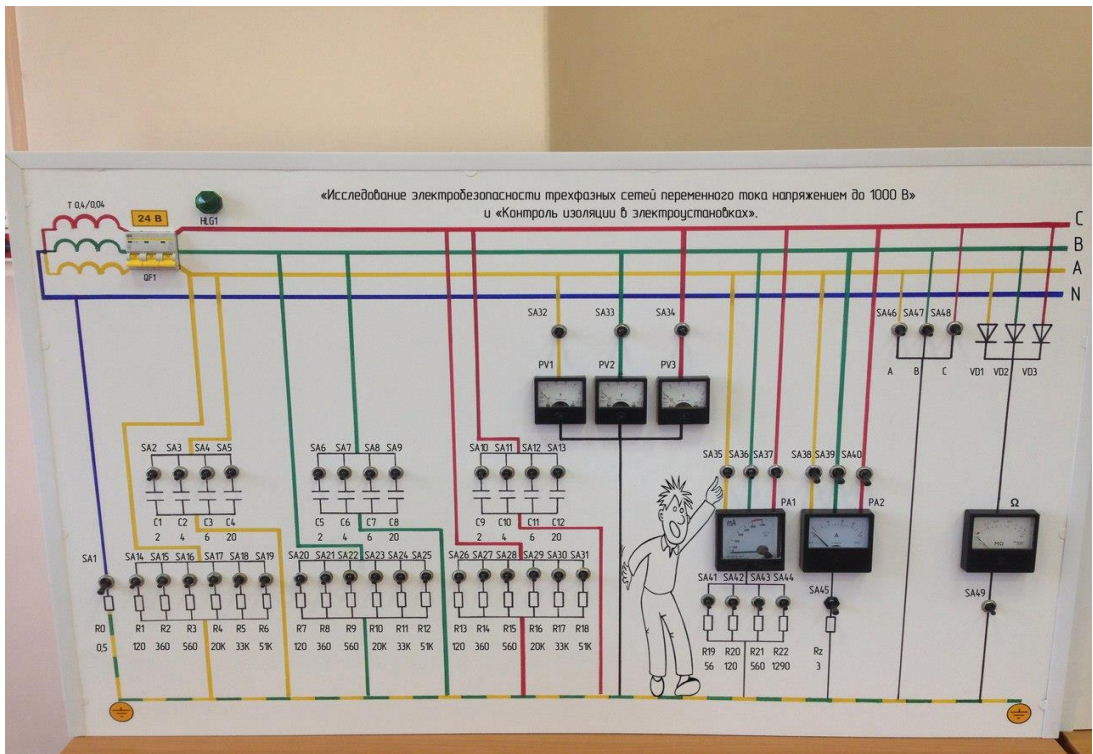


Рисунок 2.10 – Стенд «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Контроль изоляции в электроустановках»

На рисунке 2.11 представлен общий вид лаборатории по курсу электробезопасности в аудитории №309а.



Рисунок 2.11 – Общий вид готовой лаборатории по курсу электробезопасности

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 №309 а, по курсу электробезопасность, отвечает современным стандартам, предъявляемым к качеству, надежности и безопасности оборудования используемого в процессе подготовки и обучения студентов.

2.4 Проектирование и расчет силового трансформатора.

В целях безопасности проведения лабораторных работ, лабораторные стенды питаются от 3-х фазного напряжения 24 Вольта. Исходя из расчетов, было получено, что максимальный потребляемый ток лабораторного стенда составляет 10,9 А. В опыте зануления, будет происходить кратковременное однофазное замыкание фазы на землю, это нужно учитывать при выборе трансформатора.

Мощность трансформатора определяется по формуле:

$$S_{\text{ном}} = \frac{I_{\text{ном}} \cdot U}{\cos \varphi} = \frac{10,9 \cdot 24}{0,8} = 327 \text{ Вт}$$

Исходя из полученной номинальной мощности трансформатора можно вычислить минимальное сечение сердечника $S \text{ см}^2$.

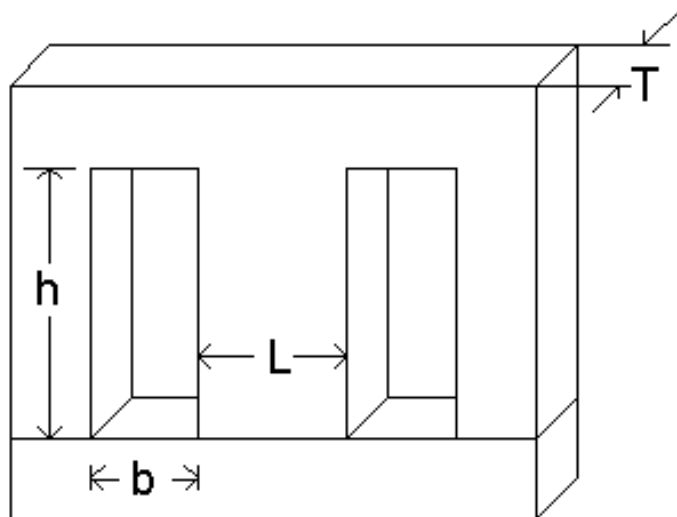


Рисунок 2.12. Размеры необходимые для расчета трансформатора

$$S_{\text{серд}} = \sqrt{P} = 18 \text{ см}^2$$
$$S_{\text{серд}} = L \cdot T$$

В наличии имелось 3 трансформатора с известными данными:
 $U_1=220\text{В}$; $U_2=110 \text{ в}$. Число витков первичной обмотки – $N_1=780$; $\cos = 0.8$
Площадь сердечника $4 \cdot 4,5 = 18 \text{ см}^2$.

Исходя из данных трансформатора, сделан вывод что его мощность равняется:

$$S_{\text{трансформатора}} = S^2_{\text{сердечника}}$$
$$S = 324 \text{ Вт.}$$

Вторичную обмотку трансформатора понадобилось изготовить самостоятельно. Для этого необходимо найти число витков на один вольт на первичной обмотке трансформатора:

$$w' = \frac{W_1}{U_1} = \frac{780}{220} = 3,55$$

где w' - число витков на один вольт

U_1 - напряжение в первичной обмотке трансформатора, В

w_1 - число витков первичной обмотки трансформатора.

Число витков во вторичной обмотке трансформатора равно:

$$W_2 = w' * U_2 = 3,55 * 24 = 85,2.$$

Нужно учитывать то что в режиме нагрузки может быть заметная потеря части напряжения на сопротивления вторичных обмоток. Поэтому для них рекомендуется число витков брать на 5-10% больше рассчитанного.

С учетом нагрузки число витков равно:

$$W_2' = W_2 * 1,05 = 90.$$

Диаметры проводов обмоток определяются по значениям токов и исходя из допустимой плотности тока, которая для трансформатора принимается в среднем $2\text{А}/\text{мм}^2$. Для проектируемого трансформатора выбран провод «ПБД–1,56». Его сечение составляет $1,56\text{ мм}^2$ что в нормальных условиях выдерживает нагрузку 14 ампер. Для понижения нагрева и увеличения тока при опыте короткого замыкания, обмотка укладывается в два слоя.

Сборка сердечника у силового трансформатора производится "в перекрышку" - так как показано на рисунке внизу:

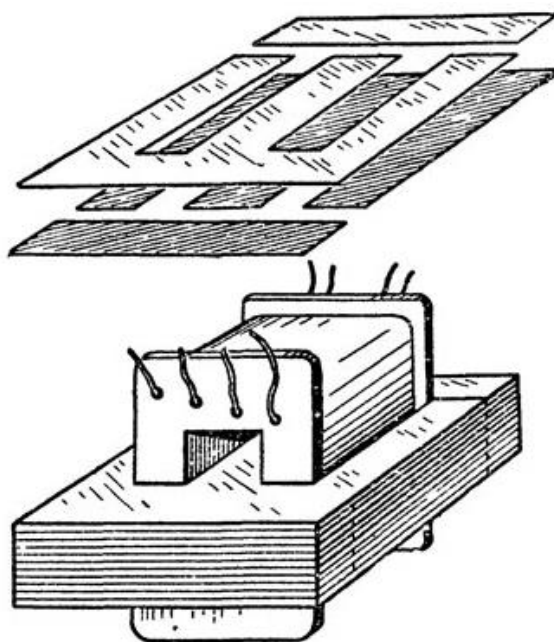


Рисунок 2.13. Сборка сердечника у силового трансформатора.

С целью безопасности проведения работ, для изолирования открытых

токоведущих частей, трансформаторы помещены в проветриваемый металлический корпус. Все металлические части, нетоковедущих частей трансформатора, соединены между собой, и заземлены на корпус получившегося блока питания. Сам блок питания заземляется подключением к PEN проводнику.



Рисунок 2. 14.Трансформатор помещенный в металлический корпус

3.1 Разработка методического обеспечения «Оценка эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях»

3.1.1 Описание конструкции стендов.

Работа выполняется на стенде, принципиальная электрическая схема изображена на рисунке 3.1. который позволяет имитировать "пробой" изоляции фаз на корпус электроустановки в трехфазных сетях с изолированной и заземленной нейтралью. А также демонстрирует принцип действия зануления. С целью обеспечения безопасности проведения лабораторных работ, было принято решение подключить стенд к напряжению 24В.

Для создания лабораторного стенда «Оценка эффективности действия

защитного заземления и зануления в трехфазных сетях” с помощью программы multisim была смоделирована принципиальная электрическая схема (рисунок 3.1)

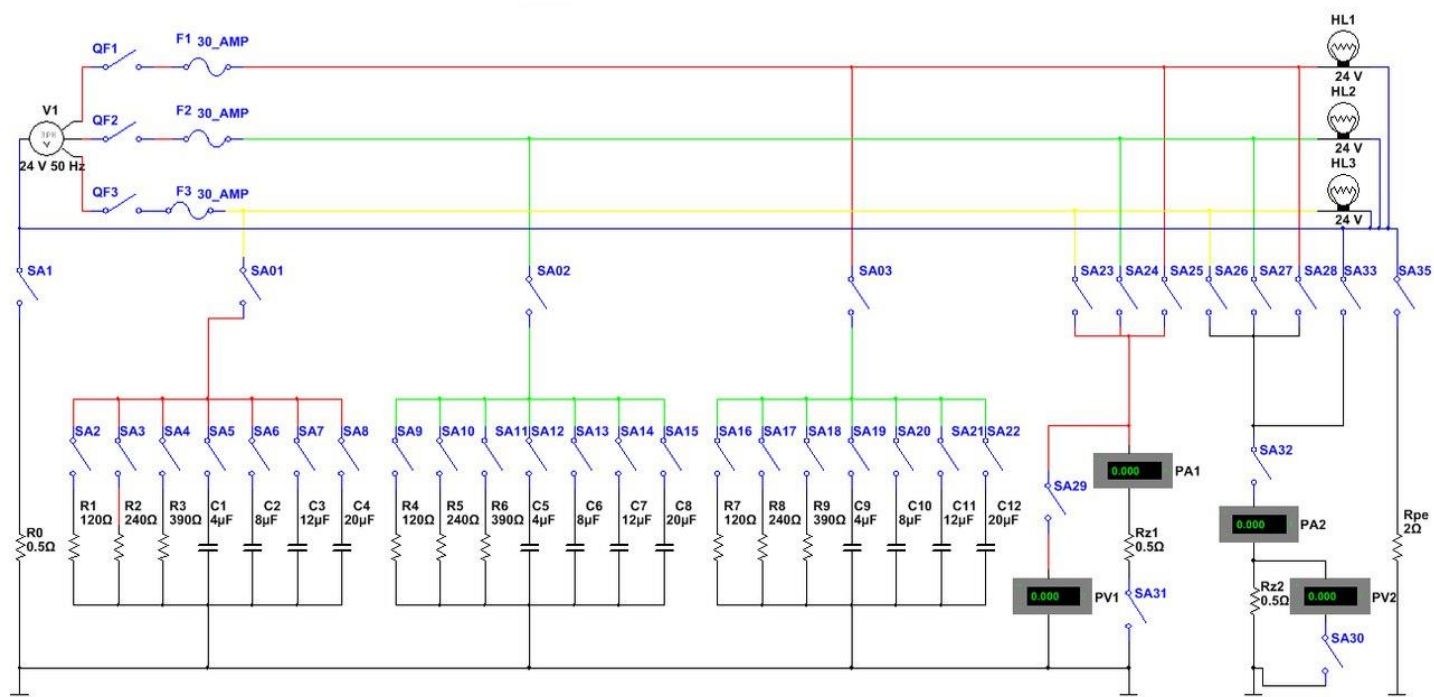


Рисунок 3.1. электрическая схема испытательного стенда в программе multisim.

3.1.2. Выбор элементов и оборудования используемых в лабораторном стенде

Измерив максимальные значения токов и напряжений при различных режимах работы (изолированная, глухозаземленная нейтраль) выберем диапазон шкалы приборов, для удобного восприятия при выполнении лабораторной работы.

Для изолированной нейтрали:

$U_{\max} PV1 - 40 \text{ В}$, $I_{\max} PA1 - 600\text{mA}$

Для глухозаземленной нейтрали

$U_{\max} PV2 - 40 \text{ В}$, $I_{\max} PA1 - 12,5\text{A}$

Опираясь на полученные значения максимального тока и напряжения, выбрали амперметры и вольтметры для стенда: 2 Вольтметра с номинальным напряжением 50В и 100В. И 2 амперметра $I_{\text{ном}} 1\text{A}$ и 30А

Для удобства сборки схемы, все элементы было решено разместить на печатной плате.

Для различных режимов работы стенда, были посчитаны токи проходящие в сопротивлениях. Полученные значения токов необходимы для нахождения мощности рассеивания резисторов. В зависимости от мощности,

резисторы имеют существенную разницу габаритных размеров, которую нужно учитывать при проектировании печатной платы, на которой в дальнейшем будут размещены и припаяны все элементы.

В первом опыте исследуется влияние сопротивления изоляции фаз на величину

Номинальной мощностью рассеивания резисторов называют максимально допустимую мощность, которую резистор может рассеивать при непрерывной электрической нагрузке и определенной температуре окружающей среды без изменения своих параметров. $P_{вт} = I^2 \times R$

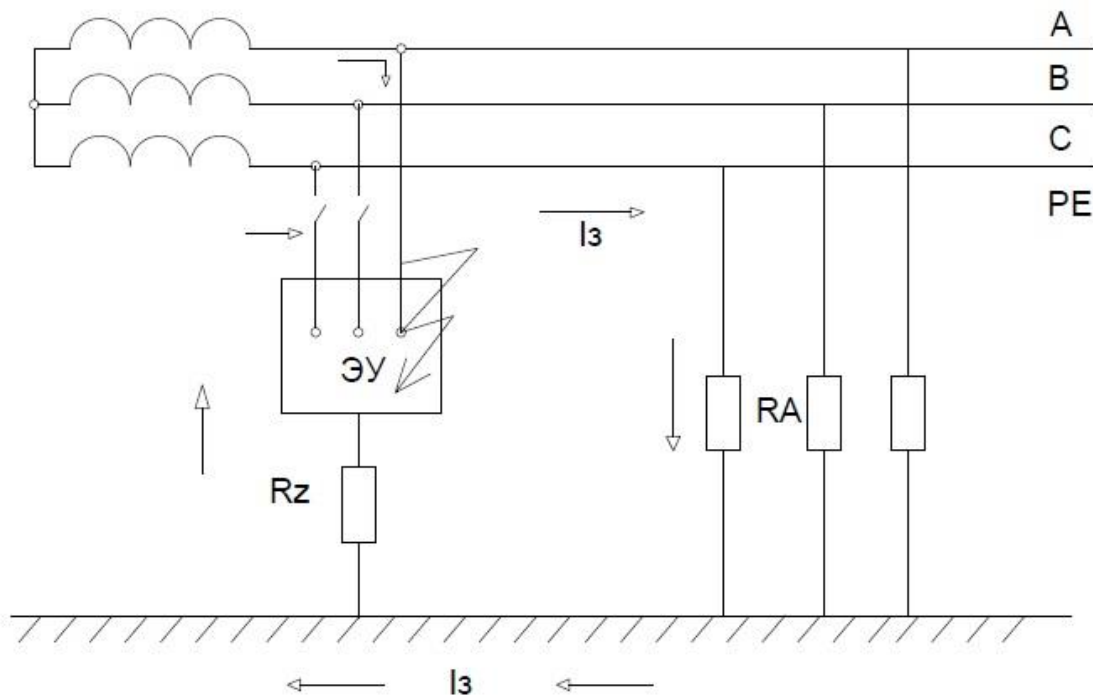


Рисунок 3.2 Опыт замыкания фазы на заземленный корпус оборудования, подключенному к трехпроводной сети с изолированной нейтралью.

Из рисунка видно, что при Пробое фазы А на корпус оборудования, ток протекает через активное сопротивление изоляции, далее землю, изоляцию проводников соседних фаз. Ток в заземляющем проводнике равен:

$$|I_z| := \frac{U_1}{R_z + \left(\frac{R_{iz}}{3}\right)}$$

Где R_z – сопротивление заземляющего устройства,

R_{iz} - сопротивление изоляции фаз.

Значения сопротивлений изоляции фаз используемых в лабораторной работе приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1 Сопротивления изоляции фаз используемых в работе

RA, Ом	RB, Ом	RC, Ом	Rz , Ом
120	120	120	0,5
240	240	240	
390	390	390	

Для того чтобы найти ток при различных сопротивлениях изоляции фаз, воспользуемся законом Ома для параллельно соединенных проводников:

Сила тока в неразветвленном участке цепи равна сумме сил токов во всех параллельно соединенных участках.

$$I = I_A + I_B + I_C$$

Отсюда следует, что $R_{из} = Iz/3$

По полученному току находим мощность рассеивания резисторов по формуле:

$$P_{вт} = I^2 \times R$$

где I- ток в контуре, R сопротивление резистора
Полученные результаты приведены в таблице 3.2:

Таблица 3.2: мощность рассеивания резисторов, в зависимости от тока замыкания.

R, Ом	I _r , А	P, Вт
120	0,197	4,68
240	0,099	2,36
390	0,0613	1,46
Rz = 0,5	0,593	0,175

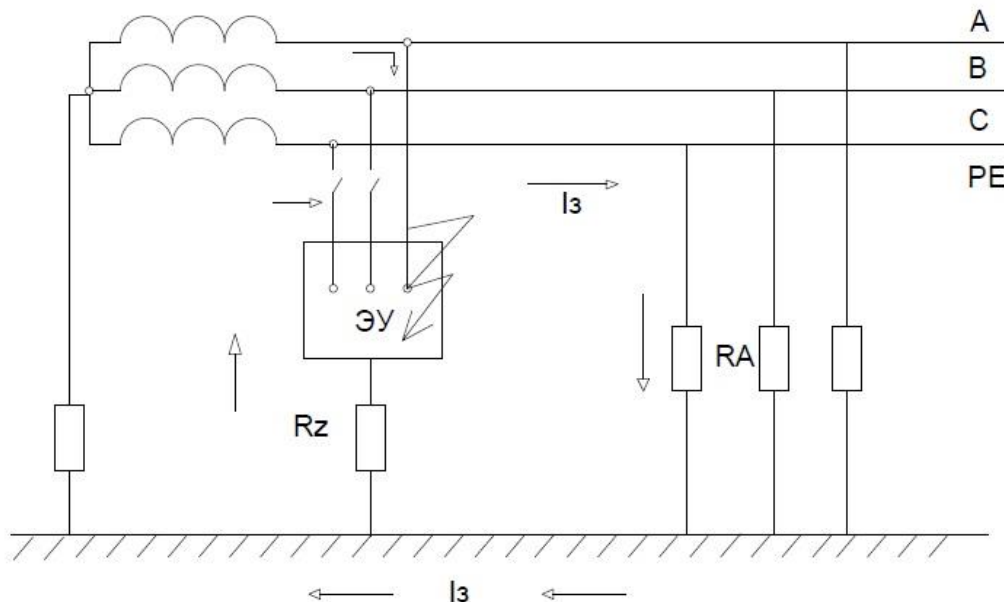


Рисунок 3.3: замыкание фазы на заземленный корпус в трех фазной 4-х проводной сети с глухозаземленной нейтралью.

Находим максимальный ток и мощность рассеивания резисторов имитирующих заземляющее устройство, повторный заземлитель и заземление электроустановки:

Таблица 3.3 мощность рассеивания резисторов

R, Ом	I_r , А	$P_{рас}$, Вт
0,5	9,6	46,08
2	9,6	184

Согласно главе 1.7 ПУЭ Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом использования естественных заземлителей, а также заземлителей повторных заземлений PEN- или PE-проводника ВЛ напряжением до 1 кВ при количестве отходящих линий не менее двух. Сопротивление защитного заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника однофазного тока, должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Для демонстрации действия зануления потребовалось сопротивление мощностью 200 Вт

Сопротивление было изготовлено из лабораторного реостата, с помощью мультиметра, поочередно измеряя сопротивление витков реостата, было уменьшено первоначальное сопротивление до необходимых – 2 Ом.



Рисунок 3.4. Сопротивление повторного заземлителя

По току в опыте зануления выбираем защитный автоматический выключатель, ток срабатывания автомата должен быть меньше чем ток в контуре зануления, иначе автомат не работает. Ином $R_{п2}=12\text{A}$.

Выбираем 3 однополюсных автоматических выключателя, с номинальным током срабатывания 10А - IEK ВА47-29 1P 10А-С

IEK ВА47-29 1P 10А-С

Автоматический выключатель предназначен для защиты от перегрузок и коротких замыканий, а также для оперативного управления участками электрических 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. Значение 4 500 А обычно является показателем для применения в жилищном секторе.

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

Преимущества

- Два типа защиты от перегрузки и короткого замыкания.
- Широкий диапазон рабочих температур от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Усовершенствованная более широкая рукоятка включения с увеличенной площадью контакта.
- Насечки на контактных зажимах снижают тепловые потери и увеличивают механическую устойчивость соединения.

Автоматический выключатель ВА47-29 представлен на рисунке 4



Рисунок 3.5 Автоматический выключатель ВА47-29

По номинальным токам сопротивлений были выбраны тумблеры. Для включения активных и емкостных сопротивлений фаз были выбраны Тумблеры ТП2-1 Они имеют небольшие размеры, позволяют коммутировать ток до 2А . В работе их применяется 30 штук.

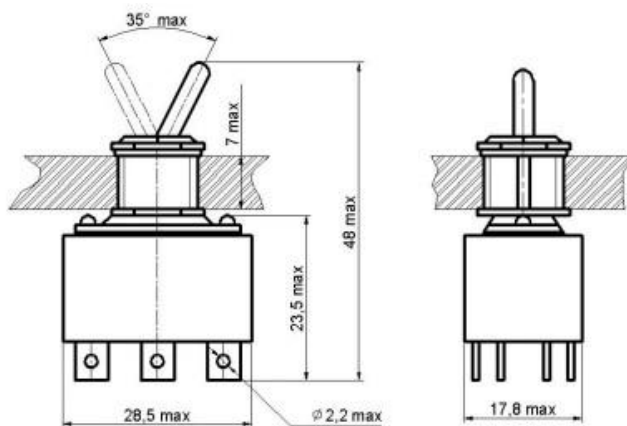


Рисунок 3.6: габаритные и установочные размеры тумблера ТП2

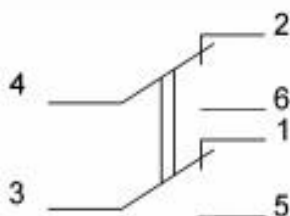


Рисунок 3.7: электрическая схема коммутации тумблера

Таблица 3.4: электрические режимы коммутации тумблера ТП2

Род тока	Вид нагрузки	Напряжение, В		Ток, А		Максимальная коммутируемая мощность, Вт (В*А)	Количество циклов переключений в НКУ
		не менее	не более	не менее	не более		
постоянный	Активная	1,6	220	0,001	2	220	10000
переменный							

Для включения заземлителя, замыкания фазы на корпус ЭУ2 для демонстрации зануления были выбраны тумблеры ТВ1-4 - четырехполюсные, имеющие нормально замкнутые контакты 1-2, 3-4, 5-6, 7-8. Так как при действии зануления автоматический выключатель срабатывает при токе 10А, тумблер должен выдержать ток порядка 15А. Для этого выводы 1,3,5,7 были соединены параллельно, и точно также были соединены выводы 2,4,6,8. В результате тумблер выдерживает 20А

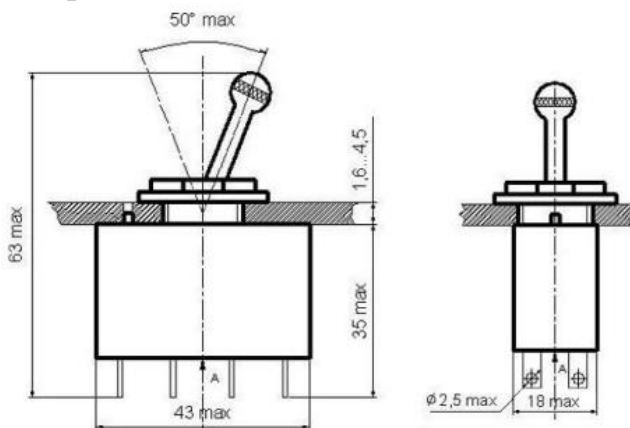


Рисунок 3.7. Габаритные и установочные размеры тумблера ТВ 1-4

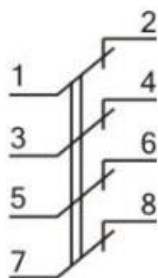


Рисунок 3.8: электрическая схема коммутации тумблера

Для установки времени срабатывания защитного автомата в опыте “зануление” используется секундомер марки ПВ-53Щ. Секундомер представлен на рисунке 3.9

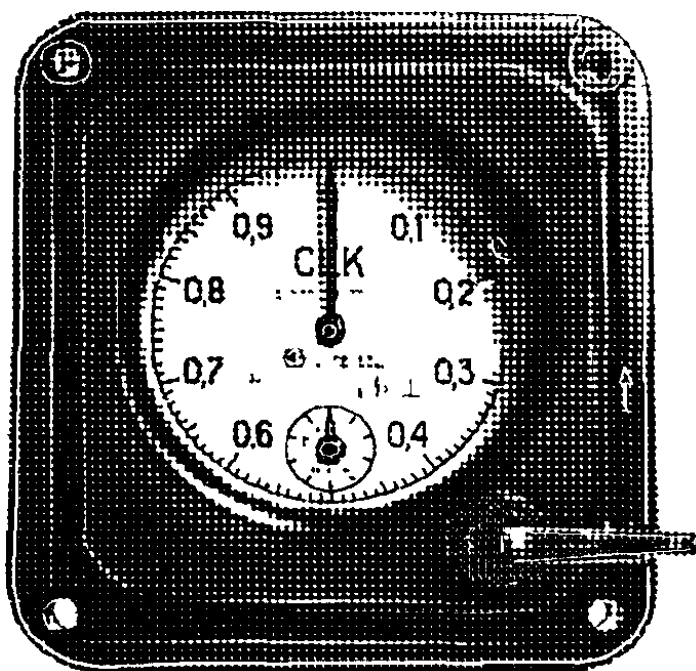


рисунок 3.9 электросекундомер ПВ53-щ



Рис 3.10.. Внешний вид клемм для подключения электросекундомера ПВ 53Щ.

Для Автоматического включения секундомера в опыте “Зануление”, при замыкании одной из трех фаз на корпус, была разработана электрическая схема. Благодаря чему секундомер срабатывает без задержек. Принципиальная схема работы представлена на рисунке:

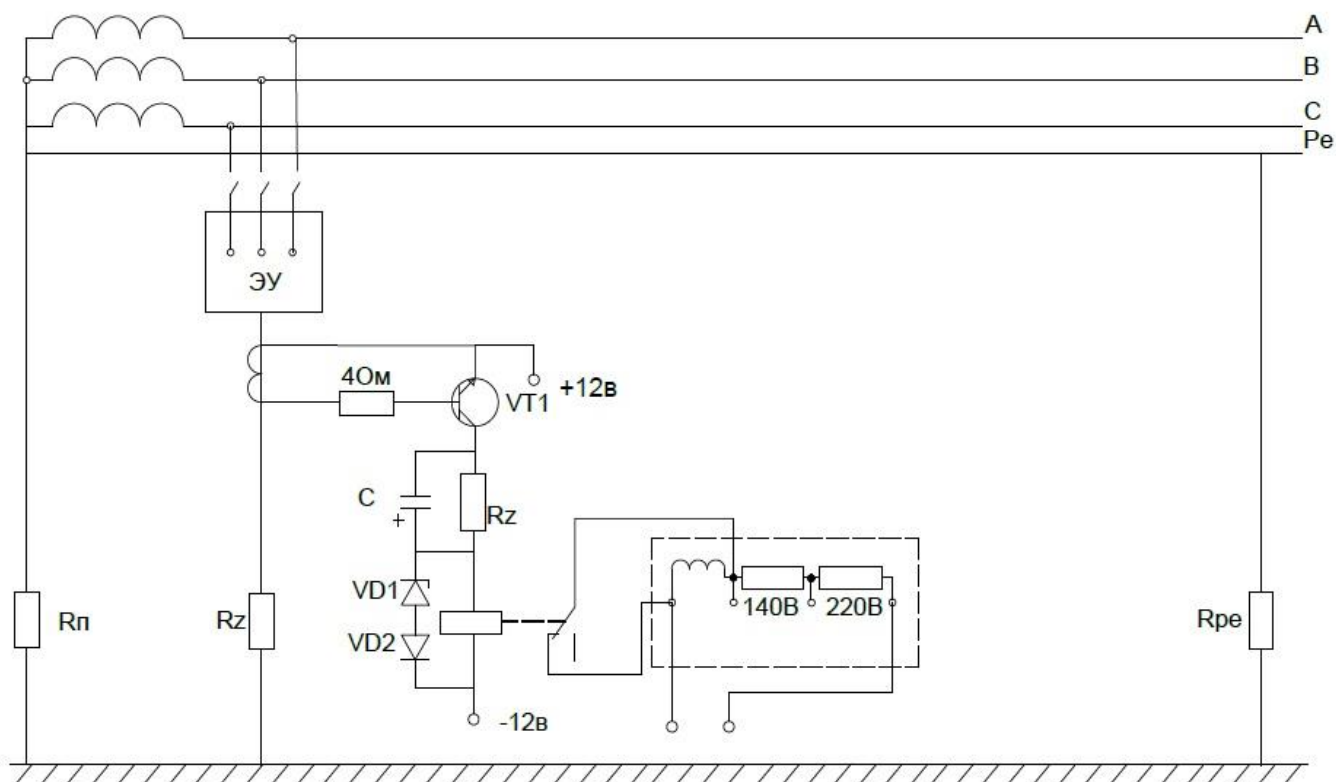


Рисунок 3.11. Принципиальная схема включения секундомера

На данной схеме изображено подключение контактов секундомера к нормально замкнутому контакту реле. В этом случае секундомер не ведет отсчет времени, как только контакт разрывает цепь, секундомер начинает работать. Реле подключено к вторичной обмотке трансформатора тока, в ходе проведения экспериментов было выявлено, что тока со вторичной обмотки трансформатора тока недостаточно для нормальной работы реле, катушка не притягивала контакт и секундомер не включался. Было принято изготовить усилитель сигнала выходящего с трансформатора тока.

Параметры элементов схемы приведены ниже:

VT1- транзистор кт315

VD1- стабилитрон $U_{ном}$ 27в

VD2-диод $I_{ном}$ 1а

C1=10 мкф

Контакты секундомера коммутируются реле....

Для удобства монтажа элементы было решено разместить на печатной плате. Печатная плата изображена на рисунке 3.12

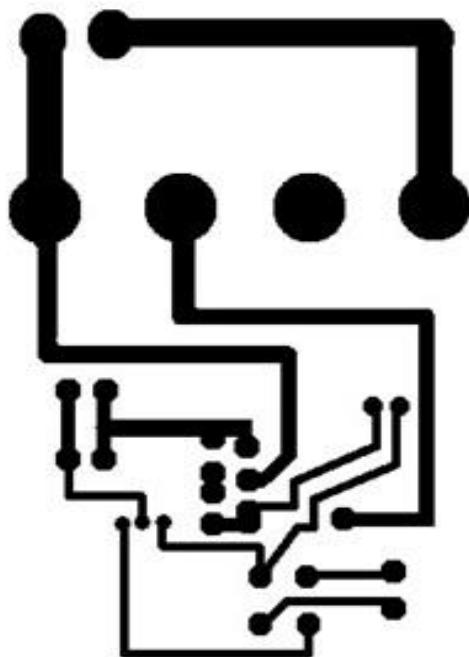


Рисунок 3.12. Схема печатной платы секундомера, для демонстрации действия зануления.



Рисунок 3.13. внешний вид смонтированной схемы на печатной плате.

Далее все выбранные элементы схемы были собраны на печатной плате. Печатная плата изготавливалась соответственно размерам самих элементов.

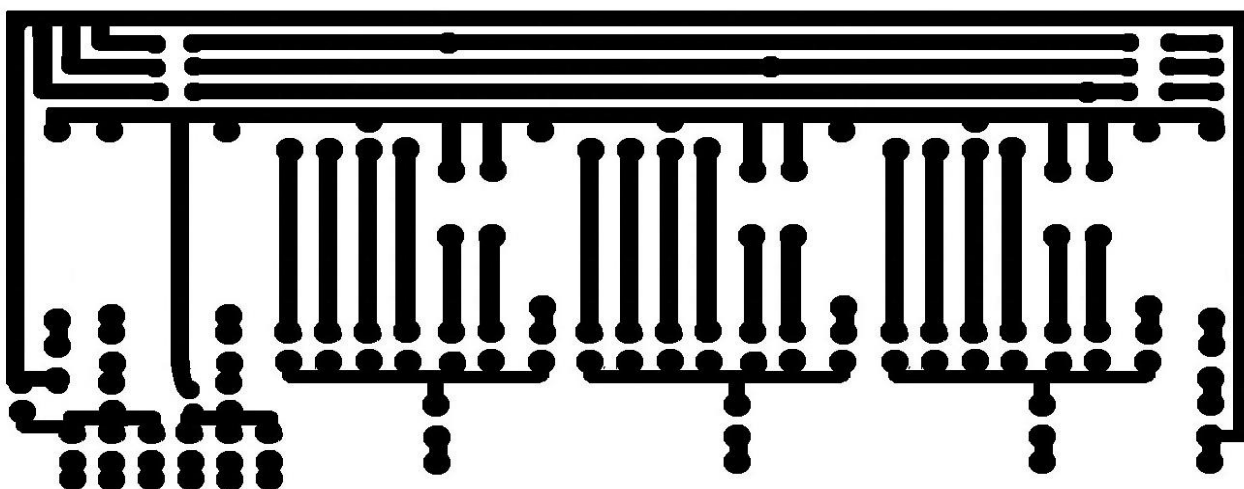


Рисунок 3.14. печатная плата для монтажа элементов стенда

Для удобства представления расположения элементов на лицевой панели и дальнейшей разработки стенда. Все индикаторные устройства, тумблеры, автоматический выключатель, секундомер, расположенные согласно принципиальной схеме были начерчены по натуральным размерам в программе AutoCAD

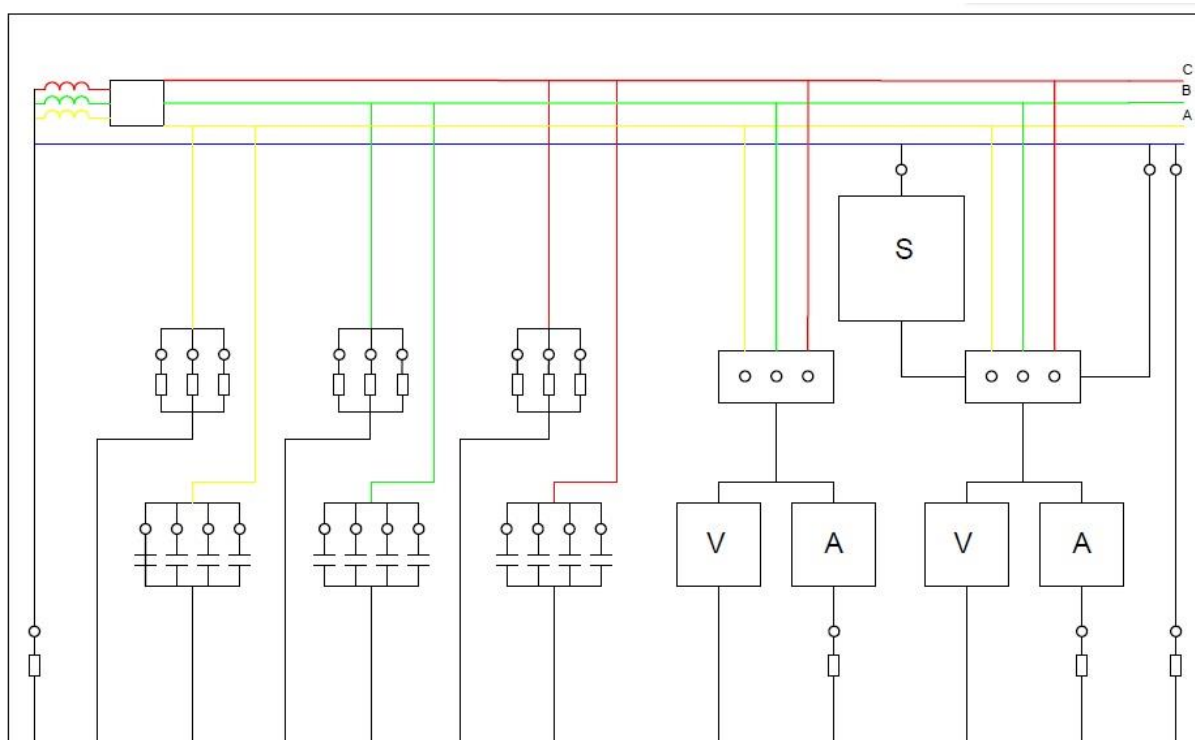


Рисунок 3.15. Спроектированное расположение устройств, в программе AutoCAD

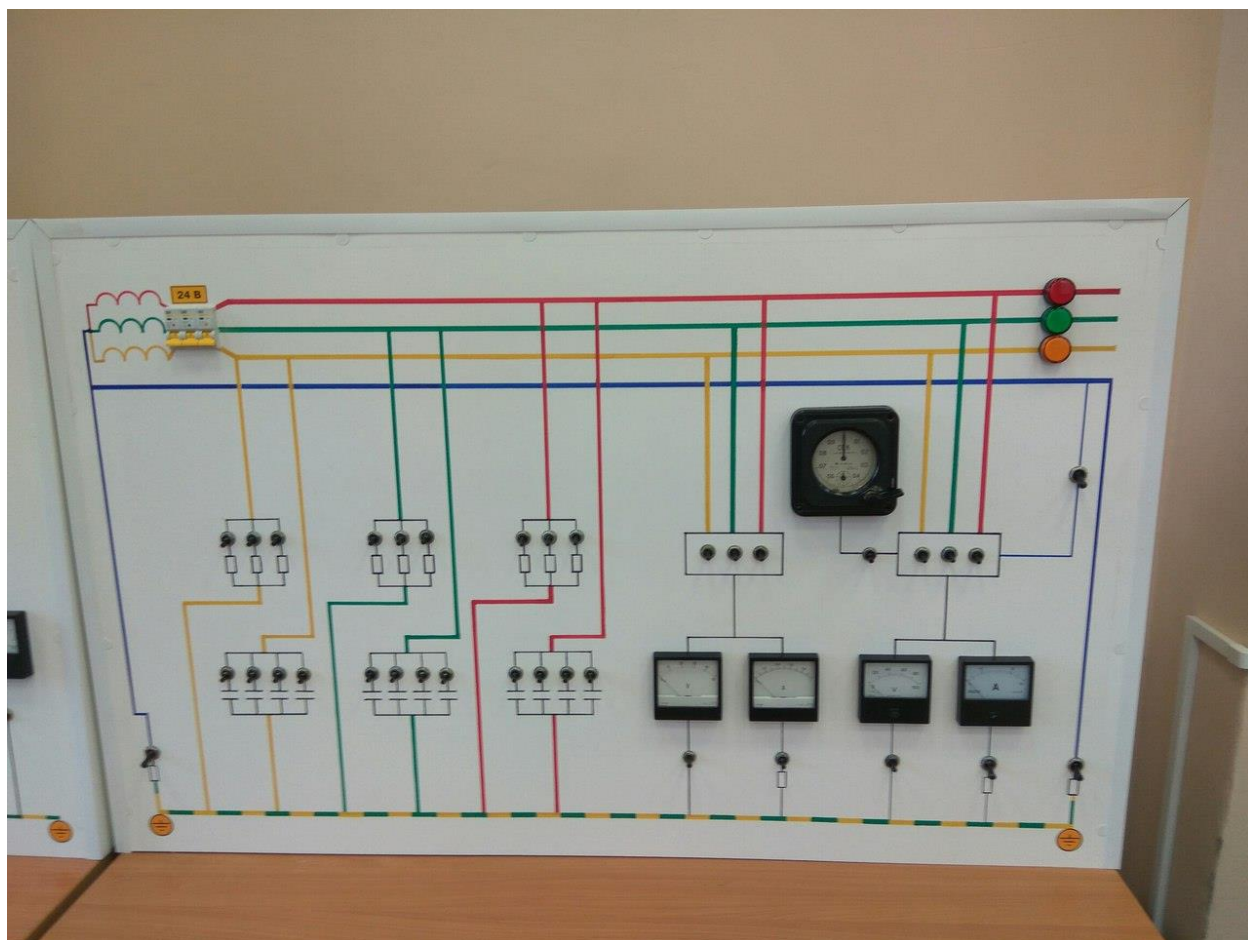


Рисунок 3.16 внешний вид получившейся лицевой панели электрического стенда по курсу электробезопасности.

На лицевой панели управления стенда “оценка эффективности действия защитного заземления и зануления в трехфазных сетях” расположены:

- Автоматический выключатель QF1
- Электросекундомер (PT1).
- Тумблера (SA1-SA35).
- Лампы сигнализации (HL1-HL3).
- Вольтметры (PV1-PV2).
- Амперметры (AP1-AP2).

Доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стендов из изоляционного материала. Помещение, в котором установлены стенды, имеет окрашенные в светло-бежевый цвет стены. 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 стенды имеет температуру окру-

жающего воздуха $+25^{\circ}\text{C}$ 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: стенды подключены к сети переменного тока напряжением 24В. На входе питания установлен автоматический выключатель, который выполняет функции выключателя и защиты при коротких замыканиях и перегрузках. Питание стендов выполнено путем подключения гибкого кабеля. Электробезопасность: эксплуатационному и ремонтному персоналу запрещается производить ремонтные работы стендов, без отключения вводного автоматического выключателя на стенде, и в распределительном электрощите аудитории №309а.

На рисунке 3.17 приведен внешний вид обратной стороны стенда по курсу электробезопасности

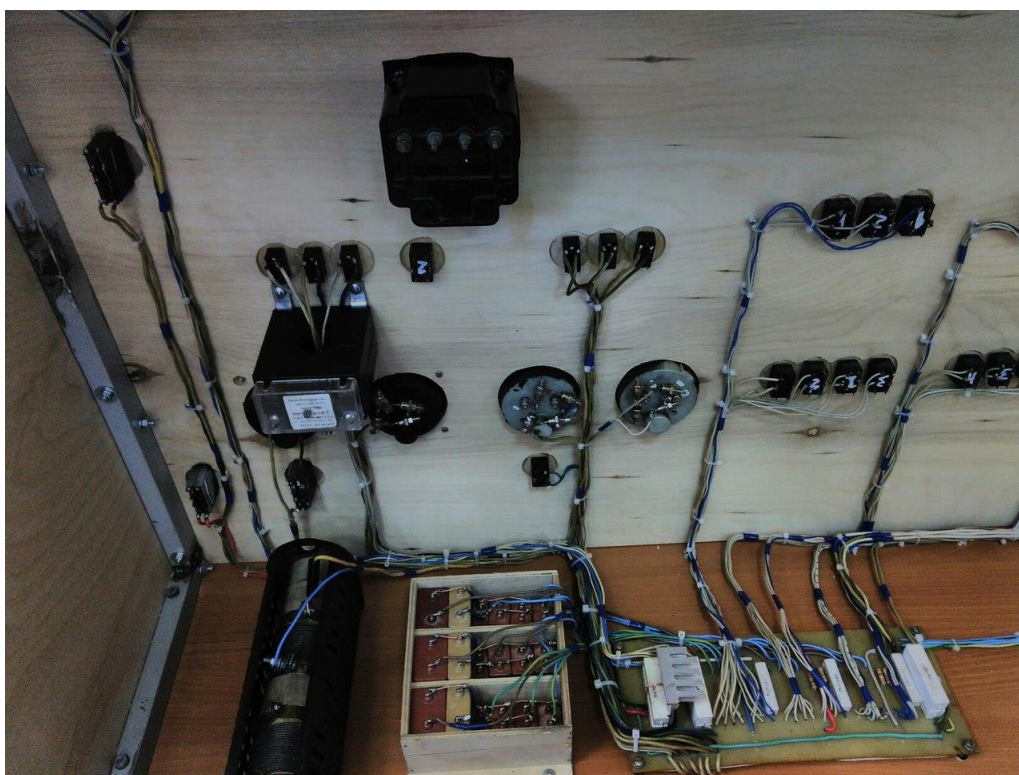


Рисунок 3.17. Внешний вид обратной стороны стенда по курсу электробезопасности.

На обратной стороне панели управления стенда “оценка эффективности действия защитного заземления и зануления в трехфазных сетях” расположены:

- Автоматический выключатель
- Электросекундомер
- Тумблера
- Лампы сигнализации
- Вольтметры с диодным мостом.
- Амперметры.

Трансформатор тока
 Нагрузка 20ма.
 Ящик конденсаторов (4;8;12;20мкФ).
 Сопротивления (0.5;120;240;390;10ма)
 Печатная плата, со всеми элементами стенда.

3.2. Создание методического обеспечения и указания для выполнения работы.

Цель работы

1. Ознакомиться с назначением защитного заземления и зануления.
2. Практически изучить влияние сопротивления изоляции на величину тока замыкания на землю.

Работа выполняется на стенде, электрическая схема которого изображена на рисунке 1. Лабораторный стенд позволяет имитировать "пробой" изоляции фаз на корпус электроустановки в трехфазных сетях с изолированной и заземленной нейтралью, а также демонстрирует принцип действия зануления.

С целью обеспечения безопасности проведения лабораторных работ, было принято решение подключить стенд к напряжению 24В.

Все значения активных и емкостных сопротивлений были подобраны таким образом, чтобы получить токи как при напряжении 220 вольт, только при безопасном напряжении. В результате на шкале приборов мы получаем абсолютно такое же значение как при 220В. Значения активных и емкостных сопротивлений сети эквивалентные 220В используемые в работе приведены 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
R0=R31=R32=0,5	4,55	C1=C5=C9=4	36,4
Rpe=2	18,2	C2=C6=C10=8	72,8
R1=R4=R7=120	1092	C3=C7=C11=12	109,2
R2=R5=R8=240	2184	C4=C8=C12=20	182
R3=R6=R9=390	3549		

Включение стенда производится тумблерами QF1, QF2, QF3 (вверх), при этом загораются индикаторные лампочки HL1, HL2, HL3.

Тумблер SA1 служит для включения заземления нейтрали.

Выключатели SA2-SA22 предназначены для подключения различных сопротивлений R и емкостей C, имитирующих активное сопротивление изоляции и ёмкость фаз относительно земли.

"Пробой" изоляции электроустановок ЭУ1 и ЭУ2 осуществляется с по-

мощью Тумблеров SA23-SA28 (При одновременном включении 2-ух тумблеров одной электроустановки, произойдет междуфазное замыкание, сработают автоматические выключатели QF1-QF3, которые отключают питание стенда)

Для регистрации напряжения на корпусах электроустановок применяются вольтметры pV1 и pV2 которые включаются тумблерами SA29, SA30 соответственно.

Выключатели SA31, SA32 служат для подключения корпусов ЭУ1 и ЭУ2 к защитному заземлению R_{31} и R_{32} .

Подсоединение корпуса ЭУ2 к нулевому защитному проводнику PE осуществляется с помощью тумблера SA33.

Для автоматического отключения установки при "пробое" изоляции на корпус ЭУ2 используются автоматические выключатели QF1, QF2, QF3.

Электросекундомер включается кнопкой SA34, он позволяет установить время срабатывания автоматических выключателей при "Пробое" изоляции на корпус.

Нулевой защитный проводник PE имеет повторное заземление R_{pe} , которое включается тумблером SA35

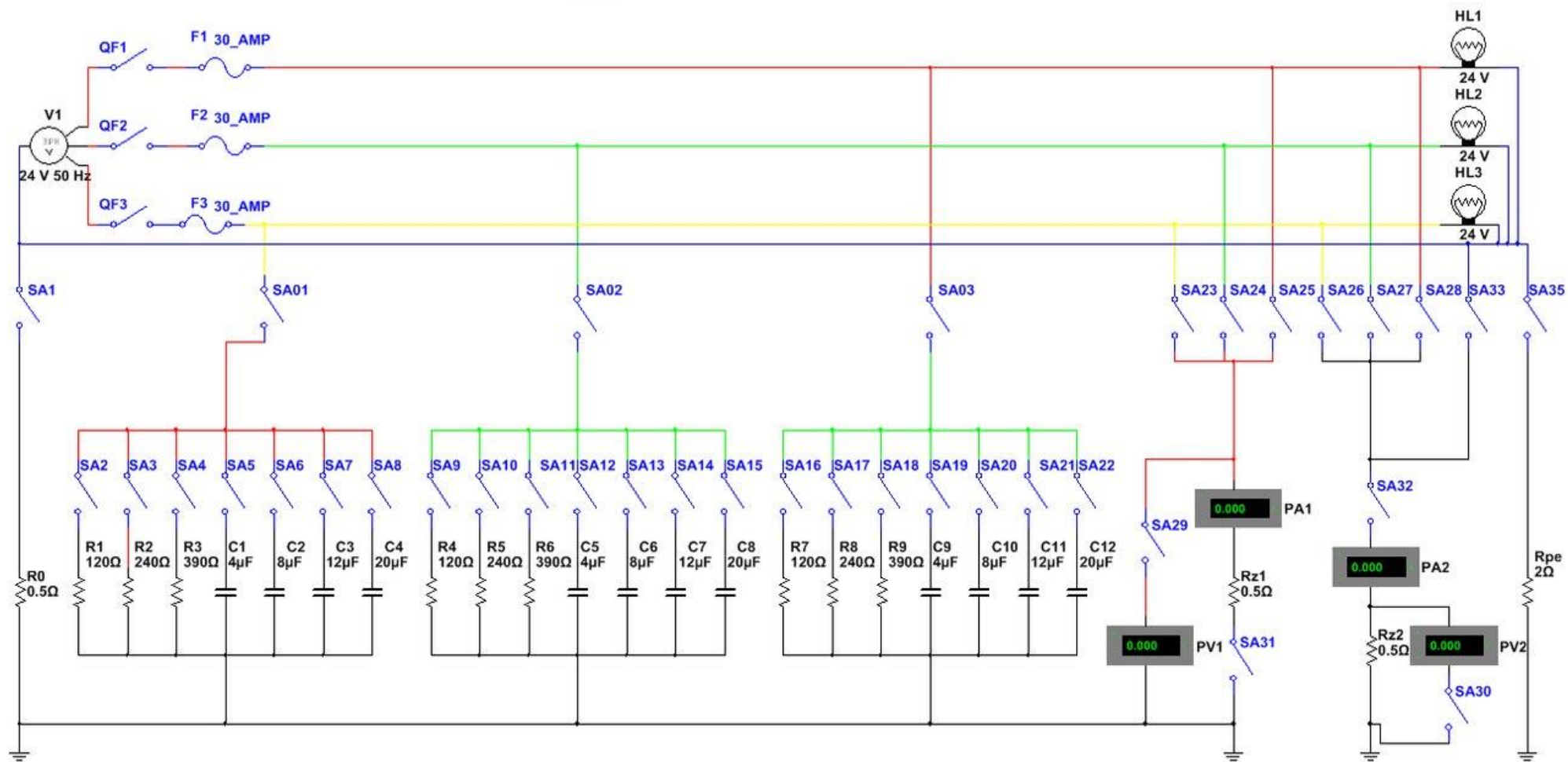


Рисунок 1 – схема лабораторной работы «Исследование эффективности защитного заземления и зануления в трехфазных сетях до 1000В»

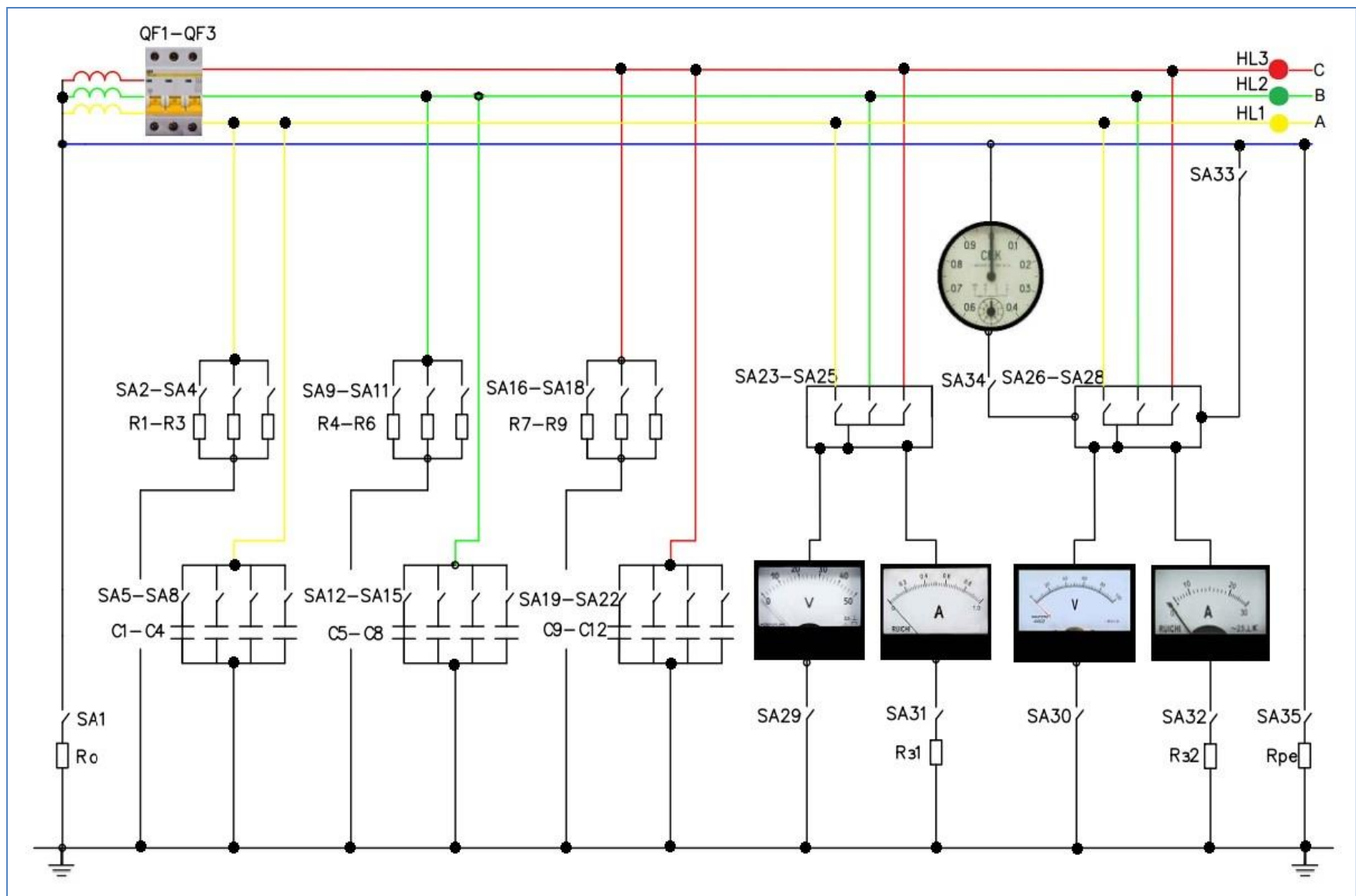


Рисунок 2 – принципиальная электрическая схема лабораторной работы «Исследование эффективности защитного заземления и зануления в трехфазных сетях до 1000В»

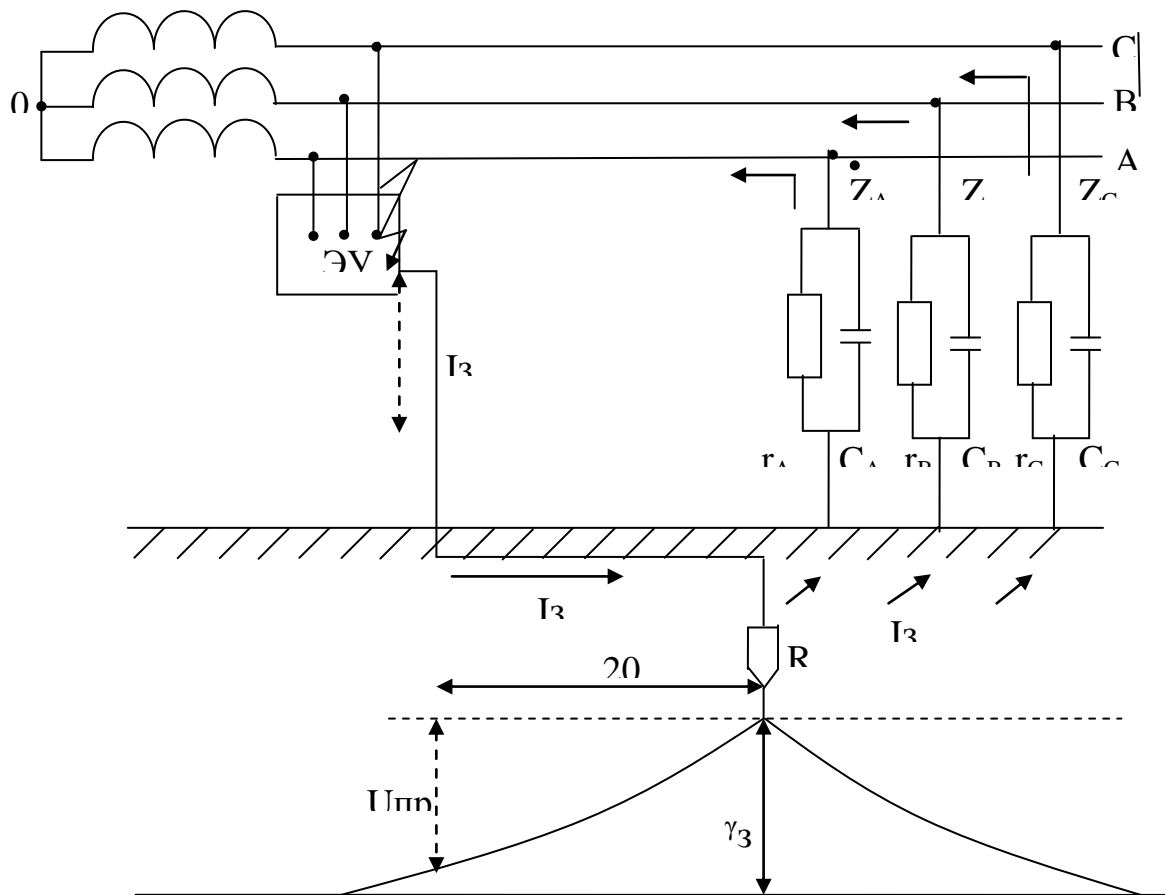


Рисунок 3. Схема защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью: ЭУ - электрическая установка; R_3 - сопротивление защитного заземления; Z_A, Z_B, Z_C - комплекс полного сопротивления фазных проводников относительно земли; I_3 - ток замыкания на землю.

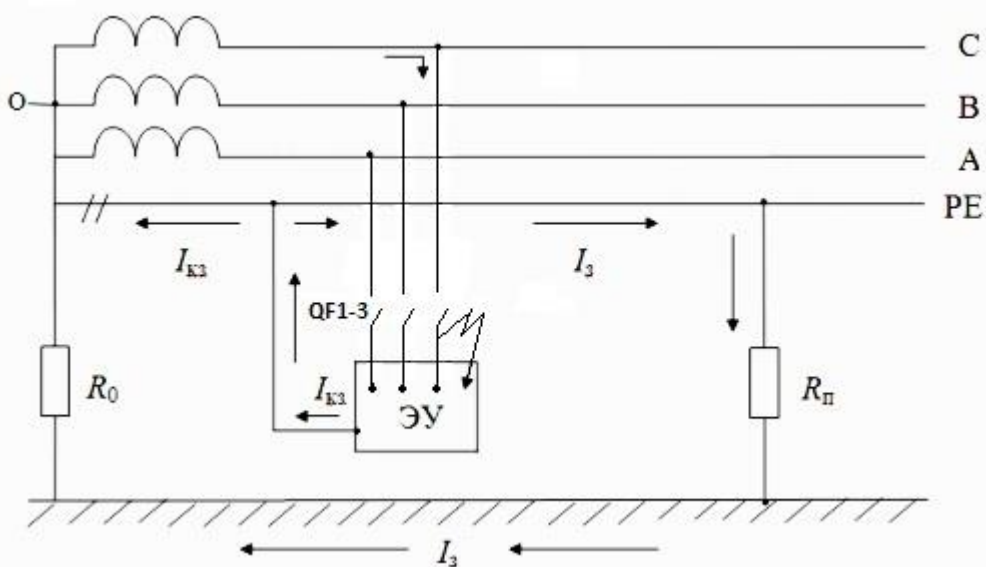


Рисунок 4. Схема зануления в трехфазных сетях с заземленной нейтралью

лью: ЭУ - электроустановка; QF1-3 - автоматы защиты; R₀ - заземление нейтрали; R_n- повторное заземление нулевого защитного проводника PE.

2. Техника безопасности

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

2.2. Перед началом исследования убедиться по внешнему виду в исправном состоянии стенда.

2.3. Запрещается включать стенд при отсутствии преподавателя или лаборанта.

2.4. Тумблеры SA29, SA30 разрешается включать после подготовки и проверки схемы исследования согласно заданию.

2.5. При замеченных неполадках в схеме лабораторного стенда, неисправностях приборов, выключателей, прекратить исследования, отключить стенд от сети и поставить в известность преподавателя. Самостоятельно устранять неисправность запрещается.

3. Порядок выполнения работы

Исследование эффективности защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью.

Подготовить схему стенда для исследования трехфазной сети с изолированной нейтралью.

Выключатели SA1, SA31, SA32, SA33, SA35 поставить в положение "выключено" (вниз).

Включить тумблер SA24 (замыкание фазы А на корпус ЭУ1).

Выключателями SA2-SA22 установить сопротивление изоляции фаз относительно земли соответственно R1-R4-R7 и C1-C5-C9 (наименьшее сопротивление изоляции фаз относительно земли).

Включить питание стенда (Автоматами QF1, QF2, QF3). При этом загорятся индикаторные лампы HL1, HL2, HL3

Включить вольтметр V1 выключателем SA29. измерить напряжение на незаземленном корпусе ЭУ1. Результат записать в таблицу 2.

Подключить корпус ЭУ 1 к защитному заземлению, для чего включить тумблеры SA31.

Произвести измерения величины тока замыкания на землю при замыкании фазы А на корпус для различных значений сопротивлений изоляции и емкостей фаз относительно земли, устанавливаемых с помощью тумблеров SA2-SA22.

Произвести измерения включением сопротивлений и емкостей следующим образом:

- 1) R₁-R₄-R₇ (тумблеры SA2, SA9, SA16);
- 2) R₂-R₅-R₈; (тумблеры SA3, SA10, SA17);

- 3) $R_3-R_6-R_9$; (тумблеры SA4, SA11, SA18);
- 4) $C_1-C_5-C_9$; (тумблеры SA5, SA12, SA19);
- 5) $C_2-C_6-C_{10}$; (тумблеры SA6, SA13, SA20);
- 6) $C_3-C_7-C_{11}$; (тумблеры SA7, SA14, SA21);
- 7) $C_4-C_8-C_{12}$; (тумблеры SA8, SA15, SA22);

При измерениях 1,2,3 отключить конденсаторы, чтобы исключить влияние емкостей фаз, а при измерениях 4,5,6,7 выключить сопротивления для исключения влияния активной составляющей сопротивления изоляции фаз.

Стенд позволяет произвести замыкание любой фазы на корпус электроустановки. Результаты записать в табл. 1. По формуле 2 подсчитать значение напряжения на заземленном корпусе, при этом принять $R_3 = 0,5 \text{ Ом}$. Результаты записать в табл. 2.

4. Исследование эффективности защитного заземления в трехфазной сети с заземленной нейтралью.

Подготовить схему стенда, для чего включить тумблер SA1. Отключить вольтметр V1 тумблером SA29. Кнопкой SA31 отключить корпус первой электроустановки от защитного заземления. Выключить тумблеры SA23-SA25, для устранения замыкания фазы на корпус электроустановки 1. Включить тумблер SA27 замыкания фазы а на корпус ЭУ2.

По вольтметру V2 измерить напряжение на незаземленном корпусе установки ЭУ2 при замыканий на него фазы "В". Для этого включить тумблер SA30. Результат записать в таблицу 2.

Подключить корпус ЭУ2 к защитному заземлению с помощью выключателя SA33. Измерить напряжение на заземленном корпусе по вольтметру V2 и ток замыкания на землю по амперметру А при замыкании фазы В на корпус ЭУ2. Результаты записать в таблицу 1.

. Подготовить схему стенда для демонстрации действия зануления.

. Подключить корпус ЭУ2 к нулевому защитному проводнику, для чего включить тумблер SA33.

С помощью тумблера SA34 произвести включение секундомера PS1

Проверить действие зануления при замыкании на корпус ЭУ2 фаз А, В и С. Подключение фаз к корпусу ЭУ2 осуществляется тумблерами SA26-SA28. При этом должен автоматически включиться электросекундомер PS1, он автоматически отключится при срабатывании автомата защиты QF1-QF3.

Отметить в таблице 2 действие зануления и время срабатывания Автомата защиты при замыкании фаз А, В и С на корпус ЭУ2. Фазы А, В, С – сработали.

Отключить питание стенда выключателями QF1-QF3.

Сделать вывод об эффективности защитного заземления при использовании его в сетях с изолированной и заземленной нейтралью.

Таблица 2: Результаты измерений.

Характеристика сети	Сопротивление изоляции фаз r, Ом, и емкость фаз относительно земли	Напряжние на незаземленном корпусе, В (при R1-R4-R7 и C3-C6-C9)	Ток замыкания на землю, А	Напряжние на заземленном корпусе, В
Трехфазная сеть с изолированной нейтралью	R1=R4=R7=120	24	0,593	0,297
	R2=R5=R8=240	24	0,298	0,149
	R3=R6=R9=390	24	0,181	0,091
	C1=C4=C7=4	24	0,09	0,045
	C2=C5=C8=8	24	0,181	0,091
	C3=C6=C9=12	24	0,27	0,135
	C4=C7=C10=20	24	0,45	0,225
Трехфазная сеть с глухозаземленной нейтралью	Фаза А	24	10,663	21.326
	Фаза В	24	10,663	21.326
	Фаза С	24	10,663	21.326
Трехфазная сеть с глухозаземленной Нейтралью, зануление	Время отключенные автомата защиты при замыкании на корпус фазы:	tсраб, с		
		2,8		
	Фаза А			
	Фаза В	1,9		
	Фаза С	1,2		

Записав все показания полученных токов и напряжений можно построить графики зависимостей $I, U=f(R, C)$ в сети с изолированной нейтралью.

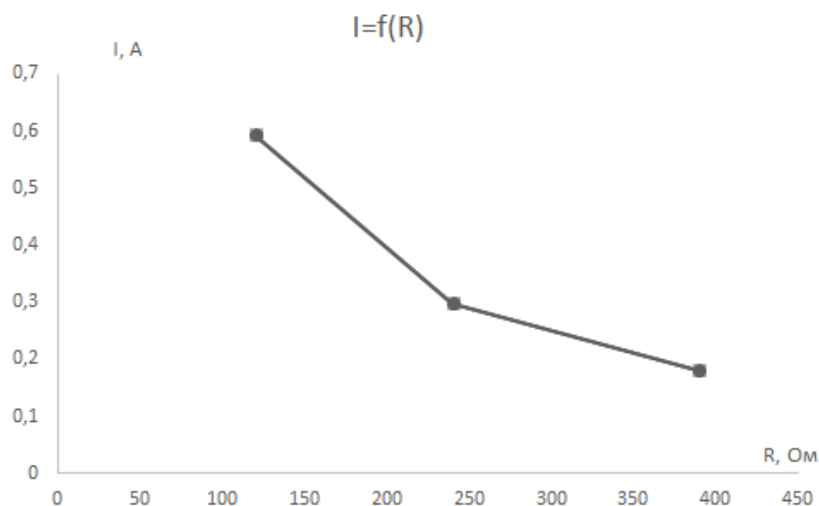


Рисунок 5 График зависимости силы тока через заземляющее устройство, при различных сопротивлениях изоляции (изолированная нейтраль)

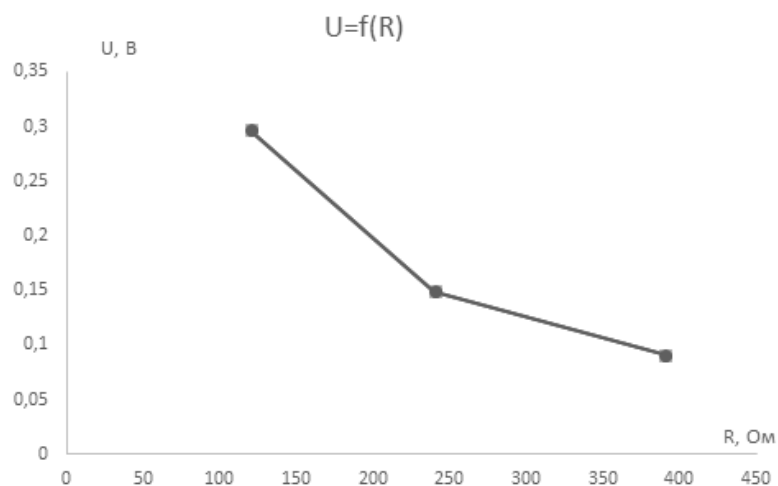


Рисунок 6 График зависимости напряжения не заземленном корпусе электроустановки, при различных сопротивлениях изоляции (изолированная нейтраль)

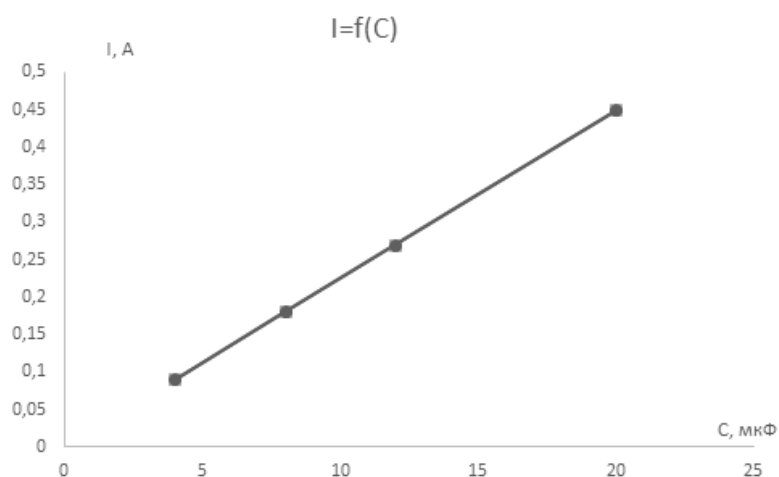


Рисунок 7 График зависимости силы тока через заземляющее устройство, при различных емкостных сопротивлениях изоляции (изолированная нейтраль)

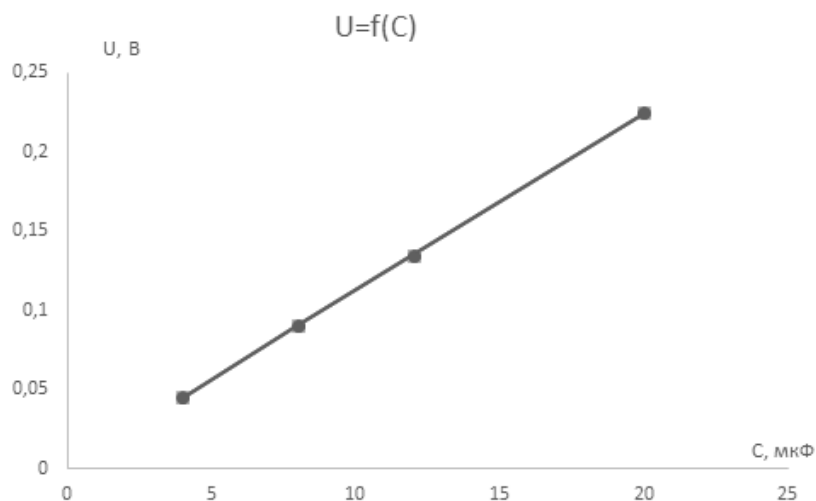


Рисунок 8 График зависимости силы тока через заземляющее устройство, при различных емкостных сопротивлениях изоляции (изолированная нейтраль)

Для проверки правильности измерений результаты посчитаны с помощью программы Mathcad.

Опыт №1 Сопротивление изоляции равно $R_{iz}=120$ изолированная нейтраль

$$U_1 := 24$$

$$R_z := 0.5$$

$$R_{iz} := 120$$

$$I_{z1} := \frac{U_1}{R_z + \left(\frac{R_{iz}}{3}\right)}$$

$$I_{z1} = 0.593$$

$$U_{k1} := R_z \cdot I_{z1} = 0.296$$

Опыт №1 Сопротивление изоляции равно $R_{iz}=240$ изолированная нейтраль

$$U_1 := 24$$

$$R_z := 0.5$$

$$R_{iz} := 240$$

$$I_{z2} := \frac{U_1}{R_z + \left(\frac{R_{iz}}{3}\right)}$$

$$I_{z2} = 0.298$$

$$U_{k2} := R_z \cdot I_{z2} = 0.149$$

Опыт №1 Сопротивление изоляции равно $R_{iz}=390$ изолированная нейтраль

$$U1 := 24$$

$$Rz := 0.5$$

$$R_{iz} := 390$$

$$Iz3 := \frac{U1}{Rz + \left(\frac{R_{iz}}{3}\right)}$$

$$Iz3 = 0.184$$

$$Uk2 := Rz \cdot Iz3 = 0.092$$

Опыт №2 Ёмкость изоляции равно $C=4$ изолированная нейтраль

$$U1 := 24$$

$$Rz := 0.5$$

$$w := 314$$

$$C1 := 4 \cdot 10^{-6}$$

$$Xc := \frac{1}{(w \cdot C1)}$$

$$Iz1 := \frac{U1}{\sqrt{(Rz)^2 + \left(\frac{Xc}{3}\right)^2}} = 0.09$$

$$Uk1 := Rz \cdot Iz1 = 0.045$$

Опыт №2 Ёмкость изоляции равно $C=8$ изолированная нейтраль

$$U1 := 24$$

$$Rz := 0.5$$

$$w := 314$$

$$C2 := 8 \cdot 10^{-6}$$

$$Xc := \frac{1}{(w \cdot C2)}$$

$$Iz2 := \frac{U1}{\sqrt{(Rz)^2 + \left(\frac{Xc}{3}\right)^2}} = 0.181$$

$$Uk2 := Rz \cdot Iz2 = 0.09$$

Опыт №2 Ёмкость изоляции равно $C=12$ изолированная нейтраль

$$U1 := 24$$

$$Rz := 0.5$$

$$w := 314$$

$$C3 := 12 \cdot 10^{-6}$$

$$Xc := \frac{1}{(w \cdot C3)}$$

$$Iz3 := \frac{U1}{\sqrt{(Rz)^2 + \left(\frac{Xc}{3}\right)^2}} = 0.271$$

$$Uk3 := Rz \cdot Iz3 = 0.136$$

$$C4 := 20 \cdot 10^{-6}$$

Опыт №2 Ёмкость изоляции равна $C=20$ изолированная нейтраль

$$U1 := 24$$

$$Rz := 0.5$$

$$w := 314$$

$$Xc := \frac{1}{(w \cdot C4)}$$

$$Iz4 := \frac{U1}{\sqrt{(Rz)^2 + \left(\frac{Xc}{3}\right)^2}} = 0.452$$

$$Uk4 := Rz \cdot Iz4 = 0.226$$

Опыт №3 Глухозаземленная нейтраль

$$U1 := 24$$

$$Rz2 := 2$$

$$R0 := 0.5$$

$$Rpe := 0.5$$

$$Iy2 := \frac{U1}{Rz2 + \frac{(R0 \cdot Rpe)}{(R0 + Rpe)}} = 10.667$$

$$Uk2 := Rz2 \cdot Iy2 = 21.333$$

7. Вопросы для самопроверки

1. Что называется изоляцией?

2. Каким образом изоляция влияет на величину тока при касании изо-

лированного провода.

3. Какой режим нейтрали является наиболее безопасным?
4. При каких условиях при замыкании на корпус электроустановки фазы с нарушенной изоляции, человек не окажется под напряжением?
5. Как уменьшить вероятность поражения электрическим током?
6. Для чего применяется защитное заземление?
7. Отличие естественных и искусственных заземлителей.

3.3 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.

На рисунке 3.4. изображена монтажная схема стенда «Исследование электробезопасности трехфазных сетей переменного тока напряжением до 1000В» и «Заземление и зануление в трехфазных сетях».

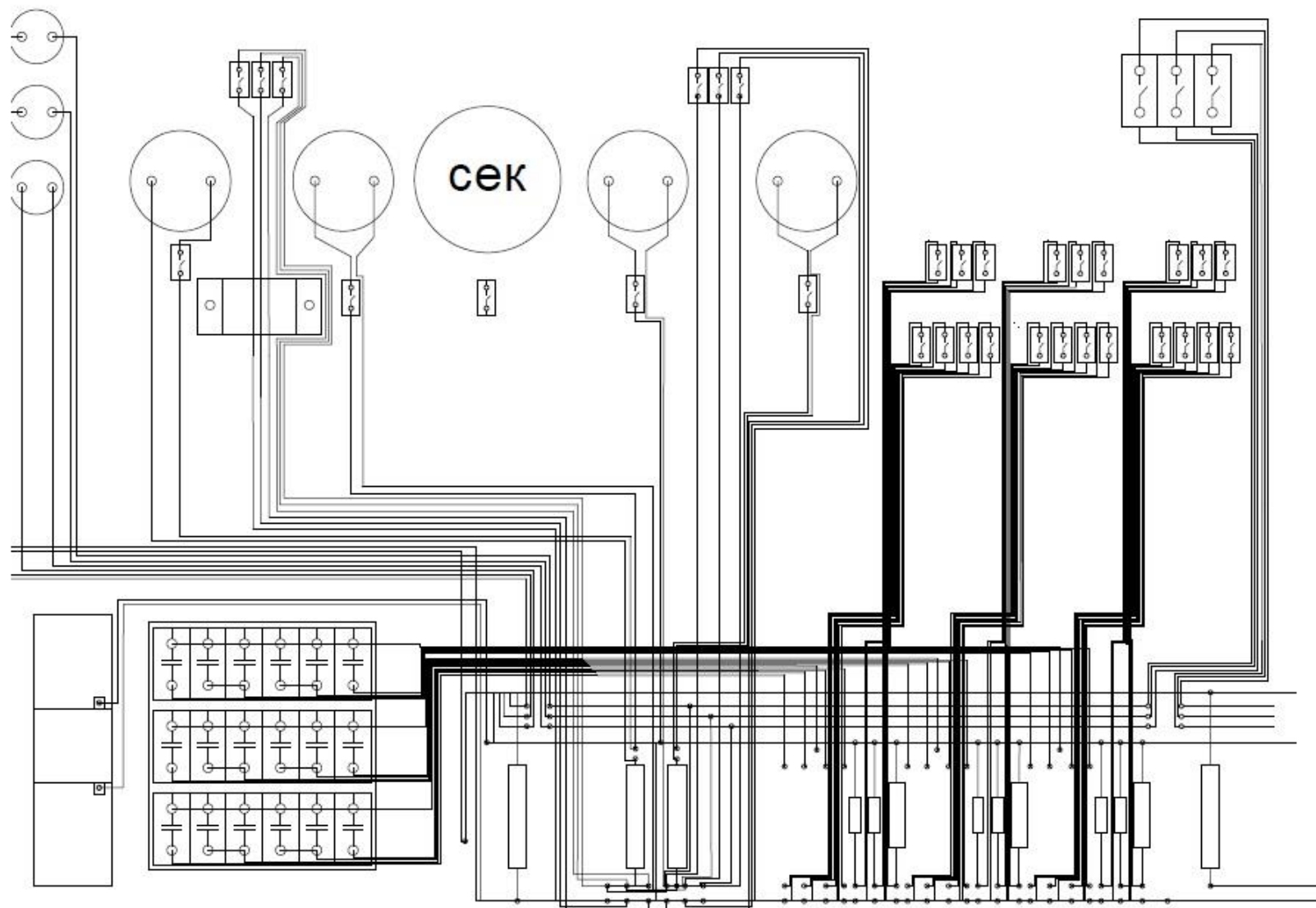


Рисунок 3.18 Монтажная схема

Таблица 3.1 – Неполадки

Наименование неполадки	Способы устранения
Не горит лампа индикации	Проверить, включен ли вводной автомат в аудитории №309а. 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

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 опасных и вредных производственных факторов цеха

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

Оборудование – трехфазный трансформатор

Таблица 4.1 - Опасный и вредный фактор

№ 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	Трансформатор тм 1 0,4/0.04 кв	Напряжение	220/380в	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 1200x840 мм. Всё оборудования размещено внутри стенда и на задней стенке. Доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стенда из изоляционного материала. Рабочее напряжение стенда составляет 24 в, что не представляет опасности для человека. Все токоведущие части стенда выполнены в изоляции. Дополнительно на блоке питания присутствуют предупреждающие знаки и 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 220В. На входе питания в стенд установлен автоматический выключатель который выполняет функции выключателя и защиты при коротких замыканий и перегрузок. 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 разъемного соединения на распределительном щитке в аудитории №309 а.

Правила безопасности перед выполнением работы. Проверить отсутствие напряжения на лабораторном стенде (автоматические выключатели

должны быть выключены, индикаторные лампы не должны 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 комплекс 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 рубильники.

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 побелены в белый 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 штуки по 7 рёбер.

Санитарно-бытовые помещения. На каждом этаже имеется мужской и женский санузел. Все санузлы оборудованы умывальниками. На первом этаже размещён гардероб и буфет для приёма пищи.

Аудитория имеет площадь 72м². 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 ЛБ-20. 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;
- 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.
3. При необходимости давать нюхать нашатырный спирт, сделать искусственное дыхание и наружный массаж сердца.
4. Обеспечить пострадавшему покой.

5. Экономическая часть

Модернизация лаборатории по курсу Электробезопасность. Разработка, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Оценка эффективности действия защитного заземления и зануления в трех фазных сетях».

На стенде выполняются следующие лабораторные работы:

- Исследование эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях напряжением до 1000 В с изолированной и заземленной нейтралью. Назначение, область применения и устройство зануления.

На рисунке 5.1 показан внешний вид стенда «Оценка эффективности действия защитного заземления и зануления в трех фазных сетях».

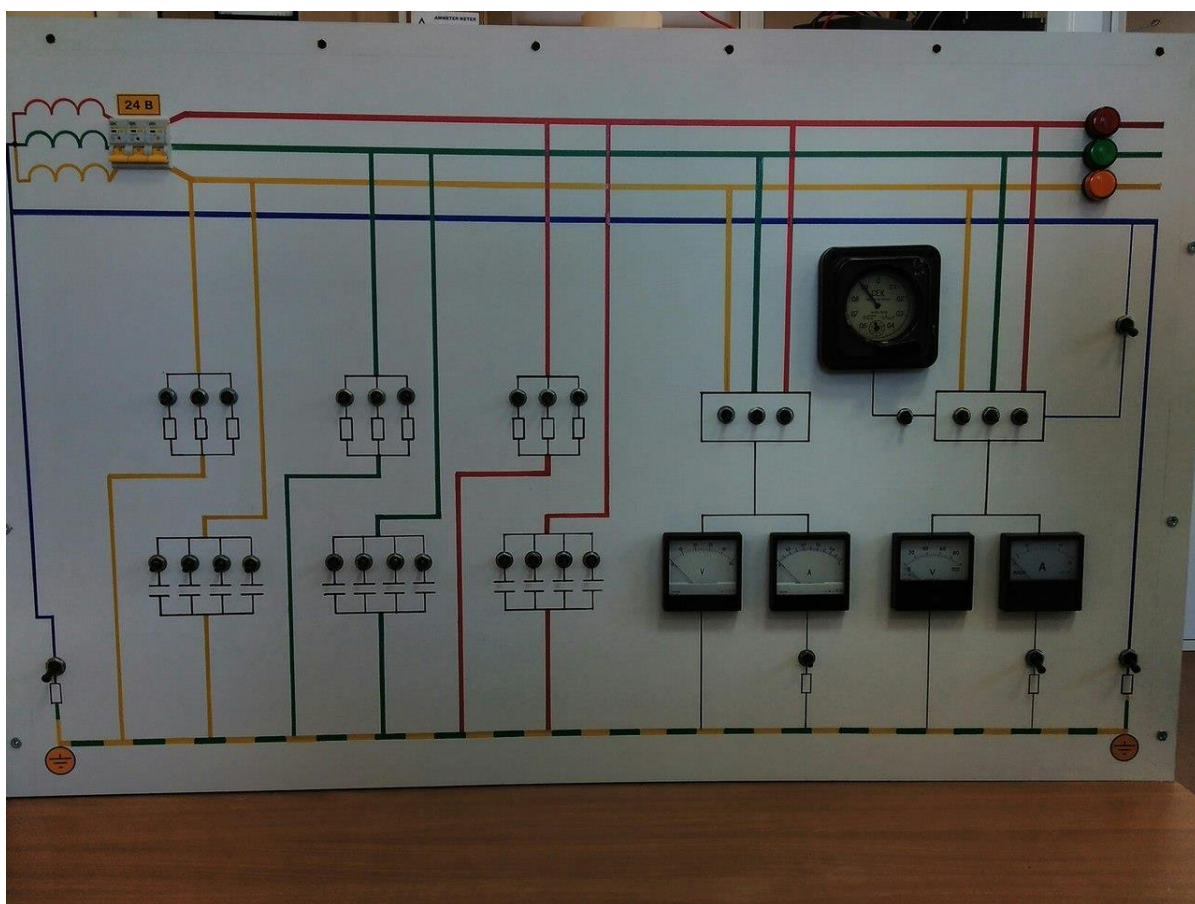


Рисунок 5.1 – Стенд «Оценка эффективности действия защитного заземления и зануления в трех фазных сетях»

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

Цена данных стендов, учитывая НДС, составляет 202011.35 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 стендов «Исследование эффективности защитного заземления и зануление в трехфазных сетях».

Таблица 5.1 – Электрооборудование стендов

Наименование материала	Ед.изм.	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Секундомер ПВ-53щ	шт.	1	1100.00	1100.00
Амперметр	шт.	2	210.00	420.00
Вольтметр	шт.	2	200.00	400.00
Однофазный трансформатор	шт.	3	1800.00	5400.00
Тумблер ТВ1-4	шт.	3	245.00	735.00
Тумблер ТП1-2	шт.	32	37.00	1184.00
Автоматический выключатель iek ва47-29 3р 10А	шт.	3	276.00	828.00
Автоматический выключатель iek ва47-29 3р 16а	шт.	1	243.00	243.00
Трансформатор тока	шт.	1	550.00	550.00
Лампа индикаторная 24 В	шт	3	85.00	255.00
Итого				11115.00

5.2 Расчет затрат на материалы

При сборке лабораторных стендов выполнялись следующие виды работ:

установка и подключение измерительных приборов, автотрансформатора, трансформатора тока, автоматических выключателей, тумблеров, сигнальной аппаратуры;

монтаж проводки и подключение всего электрооборудования;

Пайка;

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.
Конденсатор 2мФ	шт.	3	90,00	270,00
Конденсатор 4мФ	шт.	9	100,00	900,00
Конденсатор 10мФ	шт.	3	150,00	450,00
Конденсатор 20мФ	шт.	3	120,00	360,00
Транзистор	шт.	1	3,00	3,00
Сопротивление 3.9Ом	шт.	1	15,00	15,00
Резистор 120 Ом 10W	шт.	4	38,00	152,00
Резистор 240Ом 10W	шт.	3	22,00	66,00
Резистор 390Ом 10W	шт.	3	25,00	75,00
Резистор 1Ом 20W	шт.	4	30,00	120,00
Кабель 5x1,5	м	7	46,00	322,00
Кабель ВВГ 5x2,5	м	6	65,00	390,00
Щиток ЩРН-П-8 модулей	шт.	1	328,00	328,00
Автоматический выключатель-ВА47-29 16А iЭК 3P	шт.	1	276,00	276,00
Кабель канал 16x25	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 1525x1525	лист	2	398,00	796,00
ЛДСП белая 2440x910x3 мм (2,24 м ²)	лист	1	558,00	558,00
Винты оцинкованные 6x50	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 100x2.5	шт.	300	0,5	150,00
Аэрозольная краска черная 425мл	шт.	2	142,00	284,00
Саморезы 2x16	кг.	0,355	321,00	113,00

Наждачная бумага P120	лист	5	8,00	40,00
Флюс СКФ 30мл	шт.	1	56,00	56,00
Гвозди строительные 1,2x20 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 40x20	шт.	1	4,00	4,00
Символ 24В 15x50	шт.	1	4,00	4,00
Символ молния 50x50x50	шт.	1	4,00	4,00
Символ заземления 30x30	шт.	2	3,00	6,00
Текстолит 60x40 см	шт.	1	350,00	350,00
Диод FR607	шт.	4	10,00	40,00
Зажим винтовой 2,5x6	шт.	5	55,00	275,00
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 30x20 мм	м.	6	205,00	1230,00
Парта ученическая 1600x1200	шт.	1	2100,00	2100,00
Итого				15474,00

5.3 Расчет расходов по заработной плате персонала

При изготовлении лабораторного стенда «Оценка эффективности действия защитного заземления и зануления в трех фазных сетях», применяется повременная - 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:					192818,48

Таблица 5.4 - Расчет общего фонда оплаты труда рабочих.

Должность	Число штатных единиц	Часовая тарифная ставка	Годовой тарифный фонд оплаты труда, руб.	Премия	Вознаграждение по итогам года, руб.	Итого с учетом районного и северного коэффициентов, руб.	Фонд заработной платы за месяц	Фонд заработной платы за 2 месяца
Наладчик	1	8,52	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 стендов.

Наименование затрат	Сумма, руб.	Примечание
Затраты на материалы	15474,00	
Затраты на МБП	11115,00	
Заработная плата	33936,06	
Отчисления ЕСН	8823,38	26% от ЗП
Накладные расходы	8484,02	25% от ЗП
Итого:	77832,46.9	

Цена лабораторных стендов «Исследование средств противоаварийной автоматики», принимается из расчета планового уровня рентабельности работ в размере 40%.

$$Ц = 77832.46.9 \times 1,4 = 108965.44, \text{ руб};$$

Цена к продаже с НДС лабораторного стенда «Исследование средств противоаварийной автоматики»

$$Ц_{\text{НДС}} = 108965.44 \times 1,18 = 128579.22 \text{ руб.}$$

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. 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».

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.

Список использованных источников.

1. Правила устройства электроустановок. . 7-е изд. перераб. и доп. – М.: Госэнергонадзор России, 2002.
2. Электрификация горного производства: Учебник для вузов: в 2 т. /Под ред. Л. А. Пучкова и Г. Г. Пивняка. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2007. Т.1 – 595 с. с ил. Т. 2 – 595 с. с ил.
3. Герасимов А. И. Проектирование электроснабжения цехов предприятий цветной металлургии: учеб. пособие. 2-е изд. перераб. и доп. /Гос. образоват. учреждение «ГАЦМиЗ» - Красноярск, 2003 . – 208 с. Тир. 700 экз.
4. Электроснабжение карьера: Метод. Указания по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» очной и заочной форм обучения / Сост. А. И. Герасимов; Гос. образоват. учреждение «ГАЦМиЗ». Красноярск. 2004. – 64 с. Тир. 500 экз.
5. Герасимов А. И., Кузьмин С. В. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие. ГОУ ВПО «Гос. ун-т цвет. металлов и золота». 3-е изд. перераб. и доп. - Красноярск, 2006. – 264 с. Тир. 500 экз.
6. Герасимов А. И. Проектирование электроснабжения цехов обогатительных фабрик: учеб. пособие / А. И. Герасимов, С. В. Кузьмин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 304 с.
7. Герасимов А. И. Электроснабжение карьеров: учеб. пособие. / Герасимов А. И., Заварыкин Б. С. . – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 184 с.
8. Щуцкий В. И., Волощенко Н. И., Плащанский Л. А. Электрификация подземных горных работ: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1986. – 364 с.
9. Ахлюстин В. К. Электрификация обогатительных фабрик. - М., Недра, 1973. – 424 с.
10. Куликов А. А., Беленький А. А., Рапутов Б. М. Электрооборудование предприятий цветной металлургии. – М.: Металлургия, из-во 2-е, переработанное и дополненное, 1972. - 376 с.
11. Расчёт коротких замыканий и выбор электрооборудования: учеб. Пособие для студ. Высш. Учеб. Заведений / И. П. Крючков, Б. Н. Неклепаев, В. А. Старшинов и др.; под ред. И. П. Крюčkова и Старшинова. – 2-е изд. Стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 416 с.

Приложение

Лабораторная работа №1 «Исследование эффективности действия защитного заземления в трехфазных сетях напряжением до 1000 В с изолированной и заземленной нейтралью. Назначение, область применения и устройство зануления».

1. Цель работы

1. Ознакомиться с назначением защитного заземления и зануления.
2. Практически изучить влияние сопротивления изоляции на величину тока замыкания на землю.

2. Теоретическая часть

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляется в виде электротравм местного и общего характера. Степень поражения человека электрическим током зависит в конечном итоге от величины тока, которая в свою очередь определяется родом и частотой тока, сопротивлением тела человека и временем протекания тока через организм человека.

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-79 "ССБТ. Электробезопасность. Общие требования" Электробезопасность обеспечивается конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями. К техническим способам и средствам защиты относятся: защитное заземление, зануление, выравнивание потенциалов, применение малого (до 42 В) напряжения, электрическое разделение сетей, защитное отключение, изоляция токоведущих частей (рабочая, дополнительная, усиленная, двойная), оградительные устройства, предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности, средства индивидуальной защиты и предохранительные устройства.

В настоящей работе рассматриваются два способа защиты: защитное заземление и зануление.

Защитное заземление – это преднамеренное соединение с "землей" или ее эквивалентом металлических частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции фаз. Связь металлических конструкций электрических установок и корпусов электроприемников с землей осуществляется посредством заземляющих проводников и металлических электродов (труб, стержней, уголков, полос), располагаемых в земле и называемых заземлителями. Совокупность заземлителей и заземляющих проводников называется заземляющим устройством.

Назначение защитного заземления – это устранение опасности поражения электрическим током, если человек коснется корпуса электрической установки, находящегося под напряжением при нарушении изоляции фаз.

Защитное заземление применяется в электрических сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и в сетях напряжением более 1000 В с

любым режимом нейтрали.

В соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ - 85) защитное заземление корпусов электроустановок обязательно при напряжении свыше 36 В переменного и 110 В постоянного тока в помещениях повышенной опасности, а в помещениях без повышенной опасности - при напряжении 500 В и выше.

Принцип действия защитного заземления заключается в снижении напряжения на корпусе электроустановки до безопасного значения. Величиной, характеризующей степень опасности прикосновения человека к корпусу электрической установки, находящейся под напряжением, является напряжение прикосновения, которое представляет собой разность потенциалов заземлителя φ_3 основания φ_{oc}

$$U_{пр} = \varphi_3 - \varphi_{oc} = \varphi_3 - \varphi_{oc} \cdot (1 - r/x) = \varphi_3 \cdot \alpha$$

где: α - коэффициент прикосновения; r - радиус заземлителя; x - расстояние от электрооборудования до заземлителя.

Потенциал заземлителя определяется величиной тока, замыкания на землю I_3 и величиной сопротивления заземляющего устройства R_3 :

$$\varphi_3 = I_3 R_3, \text{ В}$$

Величина потенциала основания, т.е. места, на котором установлено электрооборудование и зона обслуживания, зависит от расстояния его до заземлителя (формула 1). В случае, когда заземлитель расположен непосредственно под защищаемым электрооборудованием, ($x = r$), потенциал основания равен потенциалу заземлителя и напряжение прикосновения равно нулю. Если же заземлитель удален от электроустановки на расстояние более 20 м ($x \geq 20$), то потенциал основания можно считать равным нулю, а напряжение прикосновения будет максимальным и равным напряжению на корпусе электроустановки U_k , которое соответствует потенциалу заземлителя ($U_k = I_3 \cdot R_3$).

Учитывая это, с целью уменьшения напряжения на корпусе электроустановки, ПУЭ ограничивают сопротивление защитного заземления в установках до 1000 В следующими значениями: если суммарная мощность источников питания сети $P \leq 100$ кВт, то $R_3 \leq 10$ Ом, если $P > 100$ кВт, то $R_3 \leq 4$ Ом. Кроме того, из выражения (9.2) видно, что напряжение прикосновения определяется также силой тока, стекающего на землю через заземлитель. Чем больше сила тока, стекающего на землю, тем выше напряжение на корпусе.

Величина тока замыкания на землю зависит от режима нейтрали сети. В случае трехфазной сети с изолированной нейтралью (рисунок 1) ток замыкания на землю

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_3 + z/3}, \text{ A}$$

где: U_ϕ - фазное напряжение сети, В; z - полное сопротивление фазных проводов относительно земли $z = r/(1+j\omega c)$; r и c - соответственно активное сопротивление изоляции провода и емкость провода относительно земли, j - оператор комплексной величины; ω - угловая частота тока, c^{-1}

Для электрической сети малой протяженности емкость фаз относительно земли незначительна ($C = 0$). В этом случае сопротивление изоляции, определяется величиной активного сопротивления изоляции фаз относительно земли, а величина тока замыкания на землю вычисляется из выражения:

$$I_3 = \frac{U_\phi}{R_3 + R_{из}/3}, \text{ A}$$

Согласно ПУЭ сопротивление изоляции фаз $R_{из}$ относительно земли должно быть не менее 0,5 МОм, следовательно, величина тока замыкания на землю будет малой, а напряжение на корпусе незначительным. Даже в случае неисправной изоляции, когда ее сопротивление может снизиться до нескольких сотен Ом, защитное заземление в сети с изолированной нейтралью обеспечивает защиту.

Например, при $R_{из} = 300$ Ом, $R_3 = 4$ Ом и $U_\phi = 220$ В ток замыкания на землю равен $I_3 = 220/(4+300/3) = 2,2$ А, напряжение на корпусе $U_k = 2,2 \cdot 4 = 8,8$ В, что не опасно для человека.

Защитное заземление в сетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью не применяется, так как не обеспечивает безопасности человека. Это объясняется тем, что ток замыкания на земли в сети с заземленной нейтралью не зависит от сопротивления изоляции фаз и величина его значительно больше, чем в сети с изолированной нейтралью:

$$I_3 = \frac{U_\phi}{(R_3 + R_0)}, \text{ A}$$

где: R_0 - сопротивление заземления нейтрали; R_3 и R_0 - согласно ПУЭ-85 принимаются равными 4 Ом в сетях напряжением 380/220 В. При этом напряжение на корпусе заземленной установки будет опасным.

Для защиты человека в сети с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В применяется зануление.

Занулением называется преднамеренное соединение металлических корпусов электрооборудования к нулевому защитному проводнику. Назначение зануления - устранение опасности поражения человека электрическим током при "пробое" на корпус электроустановки. Это достигается автоматическим отключением поврежденной установки от сети. Принцип действия зануления иллюстрирует рисунок 2.

При замыкании фазы на корпус электроустановки в цепи источник питания - фазный провод — аппарат защиты – корпус электроустановки - нулевой защитный проводник будет протекать ток короткого замыкания $I_{кз}$. Так как сопротивление нулевого защитного проводника меньше суммы сопротивлений R_n и R_o , то $I_{кз} > I_3$ и приближенно можно считать, что

$$I_{кз} = \frac{U_{\phi}}{Z_n + Z_T/3}, \text{ А}$$

где: Z_n - полное сопротивление петли проводников фаза-нуль; Z_T - полное сопротивление трансформатора.

Для быстрого и надежного срабатывания аппарата защиты необходимо, чтобы:

$$I_{кз} \geq KI_{ном}$$

где: $I_{ном}$ - номинальный ток срабатывания защиты; K - коэффициент кратности тока, который для предохранителей с плавкой вставкой берется равным 3, а для электромагнитных автоматических выключателей принимается в пределах 1,25 - 1,4.

Повторное заземление необходимо на случай обрыва нулевого защитного проводника со стороны источника питания.

Во избежание нарушения целостности нулевого защитного проводника в нем запрещается устанавливать выключатели и предохранители.

3. Описание лабораторной установки.

Работа выполняется на стенде (Схема 1), который позволяет имитировать "пробой" изоляции фаз на корпус электроустановки в трехфазных сетях с изолированной и заземленной нейтралью, а также демонстрирует принцип действия зануления.

С целью обеспечения безопасности проведения лабораторных работ, было принято решение подключить стенд к напряжению 24В.

Все значения активных и емкостных сопротивлений были подобраны таким образом, чтобы получить токи как при напряжении 220 вольт, только при безопасном напряжении. В результате на шкале приборов мы получаем абсолютно такое же значение как при 220В. Значения активных и емкостных сопротивлений сети эквивалентные 220В используемые в работе приведены 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
-----------------	-----------------	-----------------	------------------

R0=R31=R32=0,5	4,55	C1=C5=C9=4	36,4
Rpe=2	18,2	C2=C6=C10=8	72,8
R1=R4=R7=120	1092	C3=C7=C11=12	109,2
R2=R5=R8=240	2184	C4=C8=C12=20	182
R3=R6=R9=390	3549		

Включение стенда производится тумблерами QF1, QF2, QF3 (вверх), при этом загораются индикаторные лампочки HL1, HL2, HL3.

Тумблер SA1 служит для включения заземления нейтрали.

Выключатели SA2-SA22 предназначены для подключения различных сопротивлений R и емкостей C, имитирующих активное сопротивление изоляции и ёмкость фаз относительно земли.

"Пробой" изоляции электроустановок ЭУ1 и ЭУ2 осуществляется с помощью Тумблеров SA23-SA28 (При одновременном включении 2-ух тумблеров одной электроустановки, произойдет междуфазное замыкание, сработают автоматические выключатели QF1-QF3, которые отключают питание стенда)

Для регистрации напряжения на корпусах электроустановок применяются вольтметры pV1 и pV2 которые включаются тумблерами SA29, SA30 соответственно.

Выключатели SA31, SA32 служат для подключения корпусов ЭУ1 и ЭУ2 к защитному заземлению R₃₁ и R₃₂.

Подсоединение корпуса ЭУ2 к нулевому защитному проводнику PE осуществляется с помощью тумблера SA33.

Для автоматического отключения установки при "пробое" изоляции на корпус ЭУ2 используются автоматические выключатели QF1, QF2, QF3.

Электросекундомер включается кнопкой SA34, он позволяет установить время срабатывания автоматических выключателей при "Пробое" изоляции на корпус.

Нулевой защитный проводник PE имеет повторное заземление R_{pe}, которое включается тумблером SA35

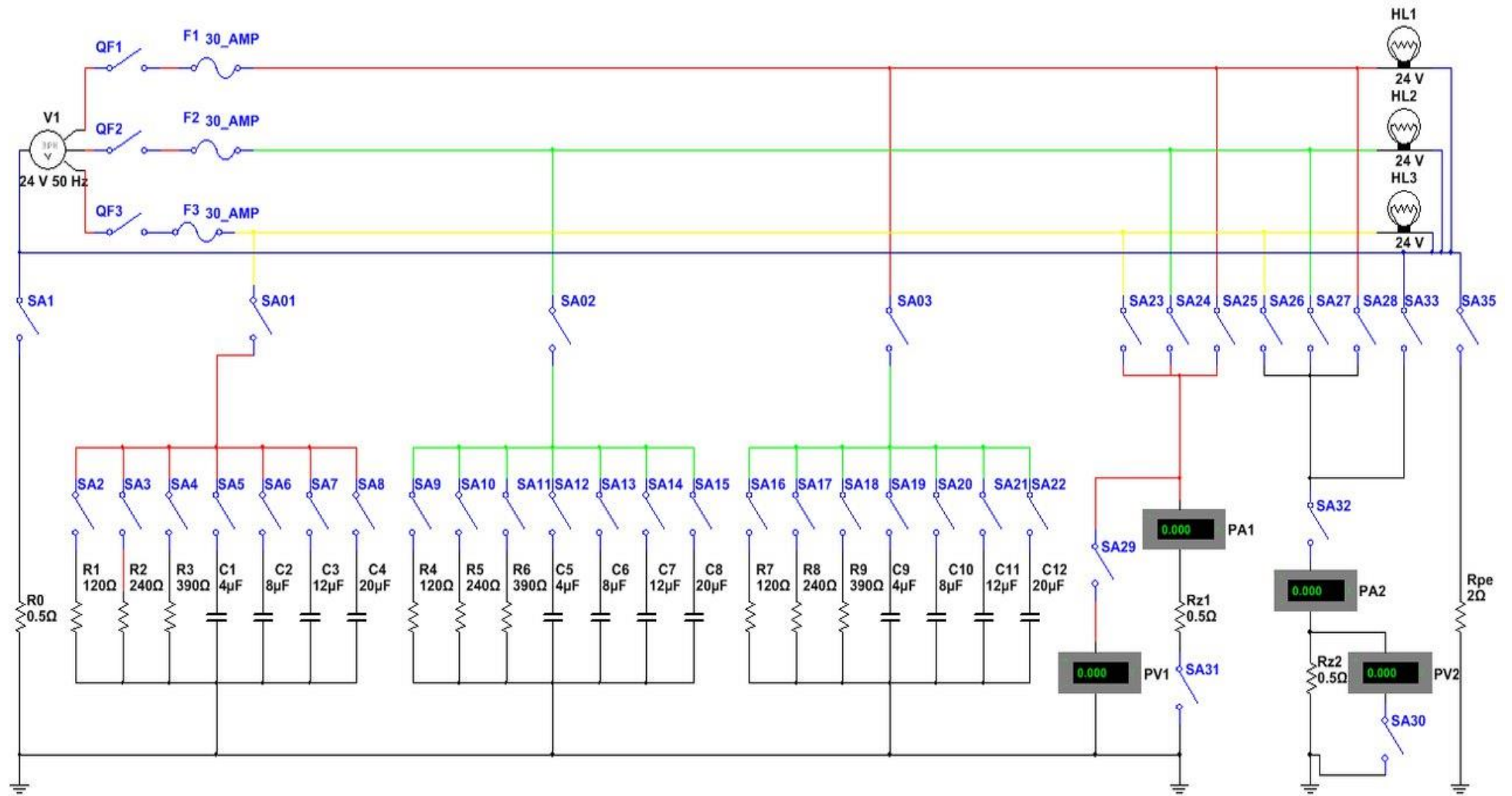


Рисунок 1 Схема испытательного стенда в программе multisim

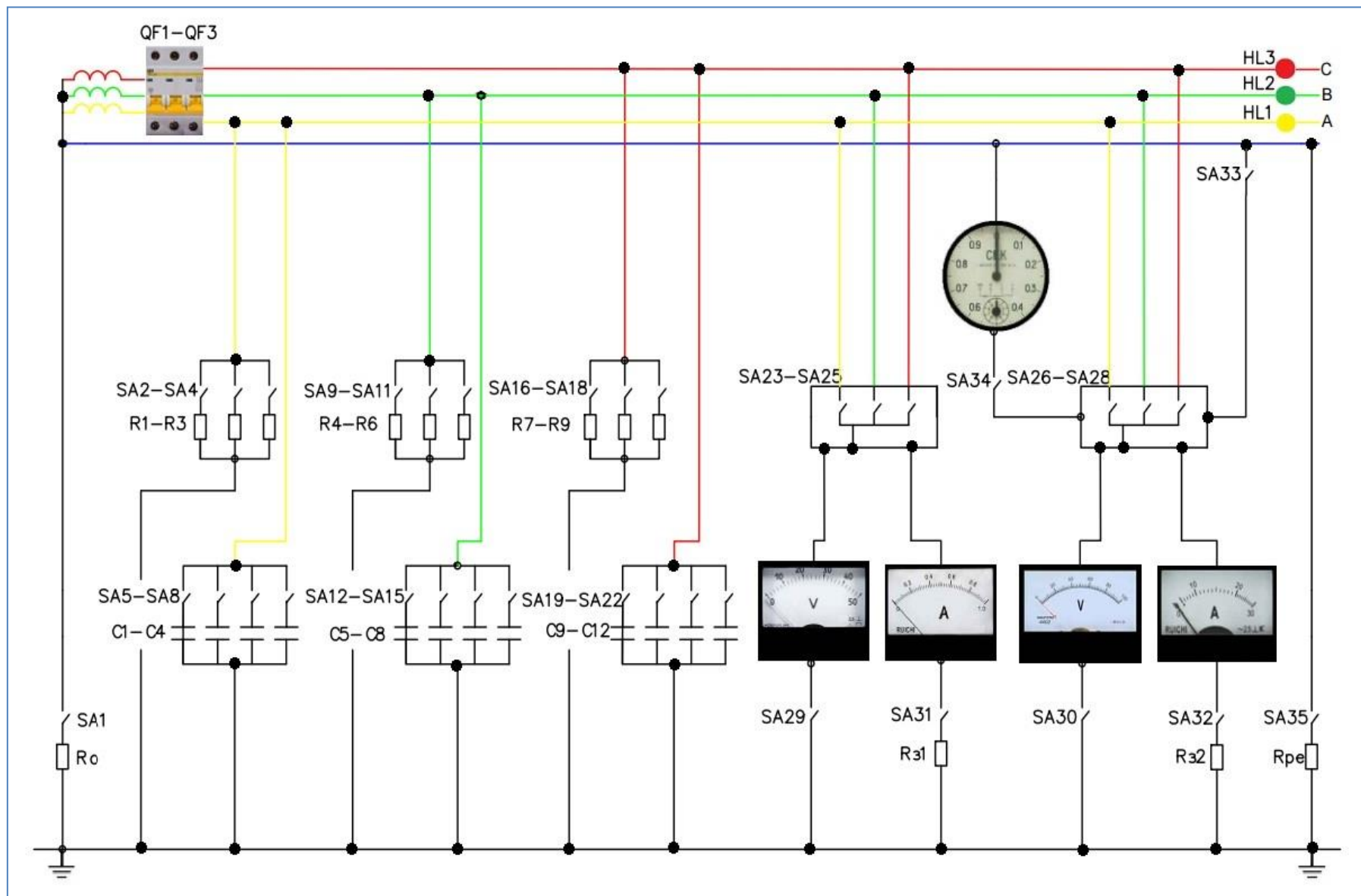


Рисунок 2. Принципиальная схема испытательного стенда

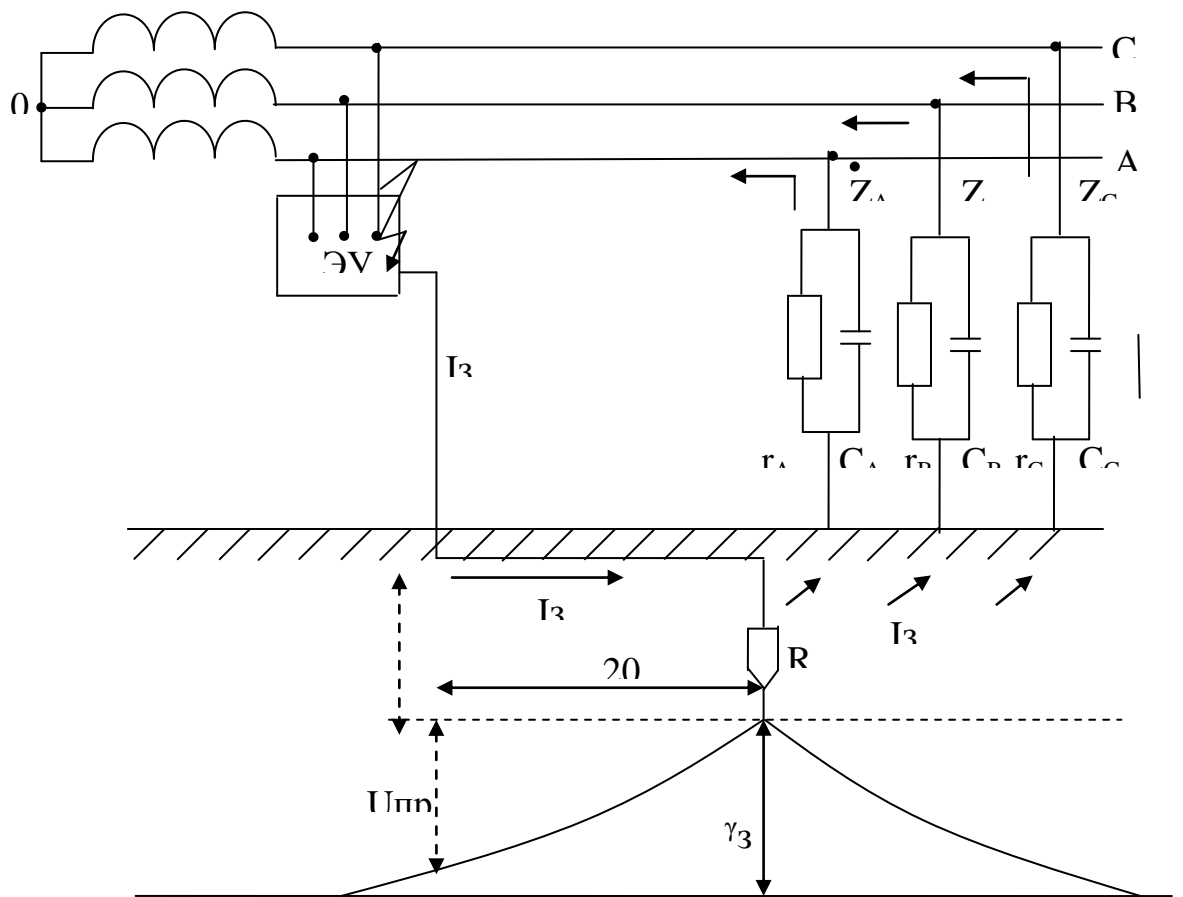


Рисунок 3. Схема защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью: ЭУ - электрическая установка; R_3 - сопротивление защитного заземления; Z_A, Z_B, Z_C - комплекс полного сопротивления фазных проводников относительно земли; I_3 - ток замыкания на землю.

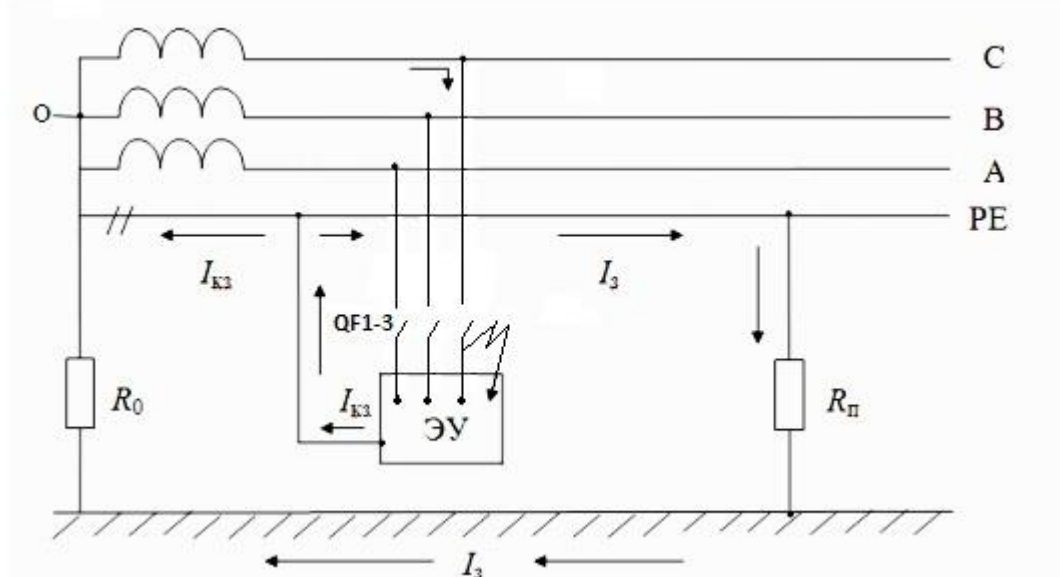


Рисунок 4. Схема зануления в трехфазных сетях с заземленной нейтралью: ЭУ - электроустановка; QF1-3 - автоматы защиты; R_0 - заземление нейтрали; $R_п$ - повторное заземление нулевого защитного проводника PE.

4. Техника безопасности

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

2.2. Перед началом исследования убедиться по внешнему виду в исправном состоянии стенда.

2.3. Запрещается включать стенд при отсутствии преподавателя или лаборанта.

2.4. Тумблеры SA29, SA30 разрешается включать после подготовки и проверки схемы исследования согласно заданию.

2.5. При замеченных неполадках в схеме лабораторного стенда, неисправностях приборов, выключателей, прекратить исследования, отключить стенд от сети и поставить в известность преподавателя. Самостоятельно устранять неисправность запрещается.

5. Порядок выполнения работы

Исследование эффективности защитного заземления в трехфазной сети с изолированной нейтралью.

Подготовить схему стенда для исследования трехфазной сети с изолированной нейтралью.

Выключатели SA1, SA31, SA32, SA33, SA35 поставить в положение "выключено" (вниз).

Включить тумблер SA24 (замыкание фазы А на корпус ЭУ1).

Выключателями SA2-SA22 установить сопротивление изоляции фаз относительно земли соответственно R1-R4-R7 и C1-C5-C9 (наименьшее сопротивление изоляции фаз относительно земли).

Включить питание стенда (Автоматами QF1, QF2, QF3). При этом загорятся индикаторные лампы HL1, HL2, HL3

Включить вольтметр V1 выключателем SA29. измерить напряжение на незаземленном корпусе ЭУ1. Результат записать в таблицу 2.

Подключить корпус ЭУ 1 к защитному заземлению, для чего включить тумблеры SA31.

Произвести измерения величины тока замыкания на землю при замыкании фазы А на корпус для различных значений сопротивлений изоляции и емкостей фаз относительно земли, устанавливаемых с помощью тумблеров SA2-SA22.

Произвести измерения включением сопротивлений и емкостей следующим образом:

- 1) R₁-R₄-R₇ (тумблеры SA2, SA9, SA16);
- 2) R₂-R₅-R₈; (тумблеры SA3, SA10, SA17);
- 3) R₃-R₆-R₉; (тумблеры SA4, SA11, SA18);
- 4) C₁- C₅-C₉;(тумблеры SA5, SA12, SA19);
- 5) C₂-C₆-C₁₀; ;(тумблеры SA6, SA13, SA20);

- 6) C₃-C₇-C₁₁; (тумблеры SA7, SA14, SA21);
- 7) C₄-C₈-C₁₂; (тумблеры SA8, SA15, SA22);

При измерениях 1,2,3 отключить конденсаторы, чтобы исключить влияние емкостей фаз, а при измерениях 4,5,6,7 выключить сопротивления для исключения влияния активной составляющей сопротивления изоляции фаз.

Стенд позволяет произвести замыкание любой фазы на корпус электроустановки. Результаты записать в табл. 1. По формуле 2 подсчитать значение напряжения на заземленном корпусе, при этом принять $R_3 = 0,5 \text{ Ом}$. Результаты записать в табл. 2.

6. Исследование эффективности защитного заземления в трехфазной сети с заземленной нейтралью.

Подготовить схему стенда, для чего включить тумблер SA1. Отключить вольтметр V1 тумблером SA29. Кнопкой SA31 отключить корпус первой электроустановки от защитного заземления. Выключить тумблеры SA23-SA25, для устранения замыкания фазы на корпус электроустановки 1. Включить тумблер SA27 замыкания фазы а на корпус ЭУ2.

По вольтметру V2 измерить напряжение на незаземленном корпусе установки ЭУ2 при замыканий на него фазы "В". Для этого включить тумблер SA30. Результат записать в таблицу 2.

Подключить корпус ЭУ2 к защитному заземлению с помощью выключателя SA33. Измерить напряжение на заземленном корпусе по вольтметру V2 и ток замыкания на землю по амперметру А при замыкании фазы В на корпус ЭУ2. Результаты записать в таблицу 1.

. Подготовить схему стенда для демонстрации действия зануления.

. Подключить корпус ЭУ2 к нулевому защитному проводнику, для чего включить тумблер SA33.

С помощью тумблера SA34 произвести включение секундомера PS1

Проверить действие зануления при замыкании на корпус ЭУ2 фаз А, В и С. Подключение фаз к корпусу ЭУ2 осуществляется тумблерами SA26-SA28. При этом должен автоматически включиться электросекундомер PS1, он автоматически отключится при срабатывании автомата защиты QF1-QF3.

Отметить в таблице 2 действие зануления и время срабатывания Автомата защиты при замыкании фаз А, В и С на корпус ЭУ2. Фазы А, В, С – сработали.

Отключить питание стенда выключателями QF1-QF3.

Сделать вывод об эффективности защитного заземления при использовании его в сетях с изолированной и заземленной нейтралью.

Таблица 2: Результаты измерений.

Характеристика сети	Сопротивление изоляции фаз r, Ом, и емкость фаз относительно земли	Напряжние на не-заземленном корпусе, В (при R1-R4-R7 и C3-C6-C9)	Ток замыкания на землю, А	Напряжние на заземленном корпусе, В
Трехфазная сеть с изолированной нейтралью	R1=R4=R7=120 R2=R5=R8=240 R3=R6=R9=390 C1=C4=C7=4 C2=C5=C8=8 C3=C6=C9=12 C4=C7=C10=20			
Трехфазная сеть с глухозаземленной нейтралью	Фаза А Фаза В Фаза С			
Трехфазная сеть с глухозаземленной Нейтралью, зануление	Время отключенные автомата защиты при замыкании на корпус фазы:	tсраб, с		
	Фаза А	2,8		
	Фаза В	1,9		
	Фаза С	1,2		

7. Вопросы для самопроверки.

1. Что называется изоляцией?
2. Каким образом изоляция влияет на величину тока при касании изолированного провода.
3. Какой режим нейтрали является наиболее безопасным?
4. При каких условиях при замыкании на корпус электроустановки фазы с нарушенной изоляцией, человек не окажется под напряжением?
5. Как уменьшить вероятность поражения электрическим током?
6. Для чего применяется защитное заземление?
7. Отличие естественных и искусственных заземлителей.