

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический
университет»

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ЛАБОРАТОРИИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ**

Выпускная квалификационная работа бакалавра
направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)
профиля подготовки «Энергетика»
специализации «Управление производством: электроснабжение,
электромеханика и автоматика»

Идентификационный код ВКР: 171

Екатеринбург 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный профессионально-педагогический
университет»
Институт инженерно-педагогического образования
Кафедра энергетики и транспорта

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:
Заведующая кафедрой ЭТ
_____ А.О. Прокубовская
« ____ » _____ 2018 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛАБОРАТОРИИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Исполнитель:
студент группы УПЭ - 401

А.А. Серебров

Руководитель:
ст. преподаватель кафедры ЭТ

В.В. Ипполитов

Нормоконтролер:
ст. преподаватель кафедры ЭТ

Т.В. Лискова

Екатеринбург 2018

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 53 страницах, содержит 50 страниц машинописного текста, 15 рисунков, 9 таблиц, 29 источников информации.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ, ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ, РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА, АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ, ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

Серебров А. А. Проектирование системы электроснабжения лаборатории релейной защиты и автоматики: выпускная квалификационная работа / А.А. Серебров; Рос. гос. проф.-пед. ун-т, Ин-т инж.-пед. образования, Каф. энергетики и транспорта. – Екатеринбург, 2018. – 53 с.

Краткая характеристика содержания ВКР:

1. Тема выпускной квалификационной работы «Проектирование системы электроснабжения лаборатории релейной защиты и автоматики». В работе рассмотрен путь решения необходимых задач для того, чтобы произвести подготовку лаборатории релейной защиты и автоматики к работе со студентами.

2. Цель работы: разработать проект системы электроснабжения лаборатории релейной защиты и автоматики.

3. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана схема электроснабжения лаборатории, также выполнен расчет электрических нагрузок, произведен выбор необходимых кабелей, защитного оборудования и разработан практикум по моделированию максимальной токовой защите линий электропередач.

4. Результаты данной работы можно использовать при реальном проектировании электроснабжения лаборатории релейной защиты и автоматики кафедры ЭТ в Российском государственном профессионально-педагогическом университете.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ7	
1.1 Характеристики лаборатории релейной защиты и автоматики.....	7
1.2 Характеристики стенда «Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения (на основе программируемого контроллера)».....	11
2 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛАБОРАТОРИИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ	14
2.1 Расчёт номинальных нагрузок стендов	14
2.2 Расчёт электрических нагрузок	15
2.3 Расчет и выбор кабелей для подключения стендов.....	17
2.4 Расчет и выбор автоматов защиты	20
2.5 Расчёт токов короткого замыкания.....	23
2.6 Расчет и выбор защитного заземления	27
3. РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ»	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	51

ВВЕДЕНИЕ

Под термином «релейная защита» понимается комплекс автоматических устройств, предназначенных для быстрого (при повреждениях) выявления и отделения от электроэнергетической системы повреждённых элементов этой электроэнергетической системы в аварийных ситуациях с целью обеспечения нормальной работы всей системы.

Релейная защита и автоматика является неотъемлемой частью системы электроснабжения. В цепи может появиться ток короткого замыкания, в результате его возникновения происходит разрушение токопроводящих частей. К релейной защите предъявляются такие требования как:

- селективность;
- чувствительность;
- надежность.

Для понимания принципа работы и процесса срабатывания релейной защиты студенту электроэнергетического факультета полезно пройти лабораторную работу. Практически проработать: пусковые органы, контролирующие режим работы цепи (реле тока, мощности и напряжения), измерительные органы, определяющие место и характер повреждения в цепи и схемы, состоящие из таймеров и элементов реле.

С помощью стендов релейной защиты и автоматики системы электроснабжения можно моделировать максимальную токовую защиту и мгновенную токовую отсечку линии электропередачи (ЛЭП), дифференциальную защиту трансформатора и ЛЭП, автоматическое включение резервного питания нагрузки и линии электропередачи.

Объектом исследования является процесс проектирования системы электроснабжения и плана лаборатории по релейной защите и автоматике.

Предметом исследования является стенды для лабораторных работ, выключатели, электропровод.

Цель – разработать проект системы электроснабжения лаборатории релейной защиты и автоматики.

Для достижения поставленной цели решены следующие *задачи*:

1. Проанализировать лабораторию и стенд для работ по дисциплине «Релейная защита и автоматика».
2. Провести расчеты для выбора электрооборудования и проводов для электроснабжения лаборатории.
3. Создать схемы расстановки стендов и системы электроснабжения в лаборатории релейной защиты и автоматики.
4. Разработать лабораторную работу по теме «Моделирование максимальной токовой защиты линии электропередач».

1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Учебная лаборатория релейной защиты и автоматики (РЗаА) представляет собой современную лабораторию, позволяющую проводить занятия в ней фронтальным методом с комплексным использованием технических средств обучения. Она оснащена универсальными лабораторными стендами (УЛС), рассчитанными на проведение лабораторных работ для студентов всех электротехнических специальностей по полной учебной и сокращенным учебным программам. Каждый лабораторный стенд обеспечивает выполнение парой студентов, более 7 лабораторных работ по: моделированию максимальной токовой, дифференциальной защиты и автоматическому включению резервного питания нагрузки.

1.1 Характеристики лаборатории релейной защиты и автоматики

Лаборатория релейной защиты и автоматики предназначена для практического изучения реле и схем защиты, получения навыков самостоятельного проведения основных типов испытаний релейной аппаратуры, знакомство с методикой расчета и настройки отдельных реле и схем защиты в целом.

Наиболее частые повреждения электроустановок происходят из-за возникающих в системе токов короткого замыкания (КЗ). Распространены токи КЗ между фазами электроустановки, токи КЗ фаз на землю в системе с глухозаземленной нейтралью. В трансформаторах и электрических машинах могут возникнуть токи КЗ между витками обмотки одной из фаз. Для предотвращения нарушений после появления аварии необходимо найти и отключить элемент, поврежденный в системе. С этой задачей справляется

релейная защита и автоматика, в частности измерительное реле. Релейная защита, срабатывая, отключает некоторый элемент, а после устройство автоматики запускает автоматическое включение резерва.

К основным органам релейной защиты относят:

- пусковые органы, контролируют состояние и режим работы оборудования, которое защищают. Они выполняются с помощью реле тока, напряжения и мощности;

- измерительные органы, выполняются с помощью таких же реле, имеет логическую схему, которая запускается пусковыми органами, а далее сопоставляет последовательность и продолжительность измерительных органов, отключает выключатель и запускает другие устройства;

- логическая часть включает в себя элементы времени;

- исполнительная часть, срабатывает на отключение выключателей или других внешних устройств.

Студент, начинающий выполнение лабораторных работ по релейной защите и автоматике должен знать и понимать назначение устройств РЗА. При коротком замыкании к месту повреждения подходят большие ток, перегревающие токоведущие части и приносящие дополнительные повреждения. Чаще всего предотвратить аварию можно путем отключения поврежденного участка электроустановки, эту функцию и выполняет релейная защита.

В момент отключения выключателя гаснет электрическая дуга, прекращается протекание тока КЗ и восстанавливается значение напряжения в электрической сети. Таким образом, назначение релейной защиты – это выявление места возникновения тока КЗ и быстрое отключение выключателей поврежденного оборудования или участка цепи, а так же выявление нарушений нормального режима работы системы и подача сигналов предупреждения обслуживающему персоналу.[4]

Для успешного выполнения лабораторных работ студентами они получают инструкцию по выполнению каждого задания, а результатом практикума будет отчет. Перед началом работы студент должен пройти инструктаж по технике безопасности. Каждая лабораторная работа включает в себя цель, порядок проведения, содержание отчета и контрольные вопросы.

Лаборатория по релейной защите и автоматике имеет площадь равную 50 м², и в ней будет размещено 8 стендов, 1 стол для преподавателя и 1 учебная доска. За каждым стендом могут работать 2 студента: один за компьютером, а другой с оборудованием.

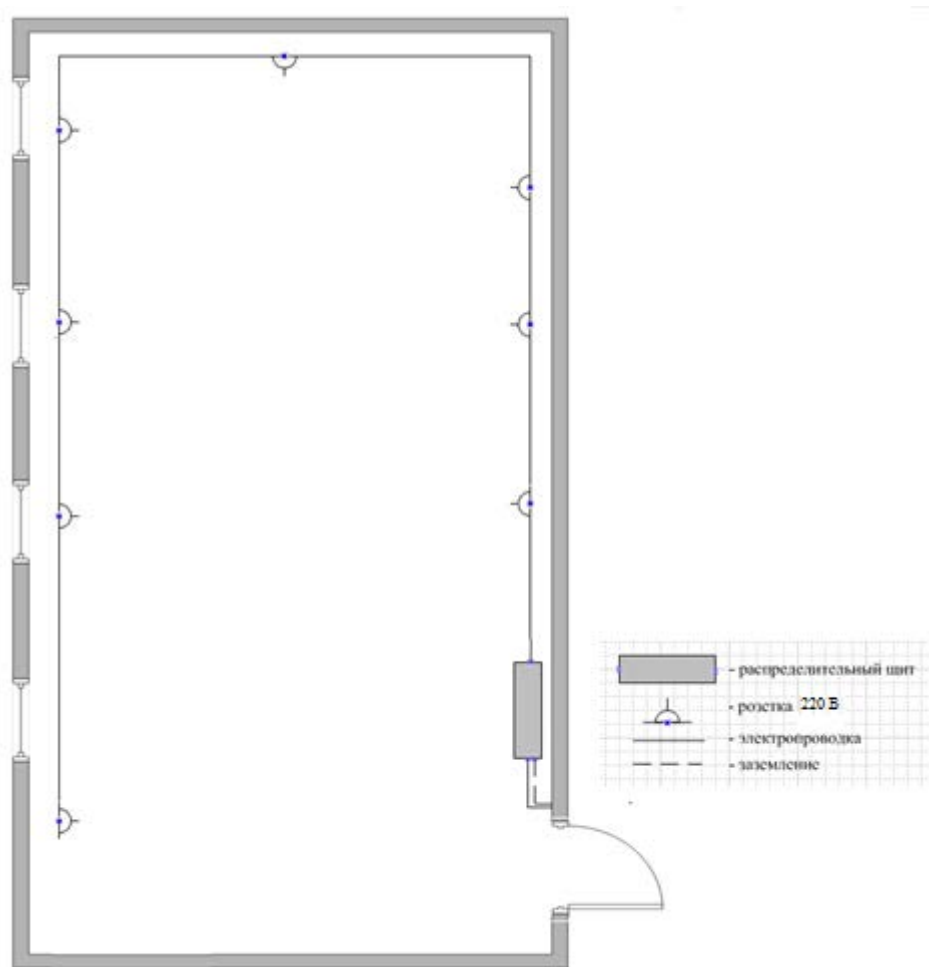


Рисунок 1 – Схема электроснабжения лаборатории

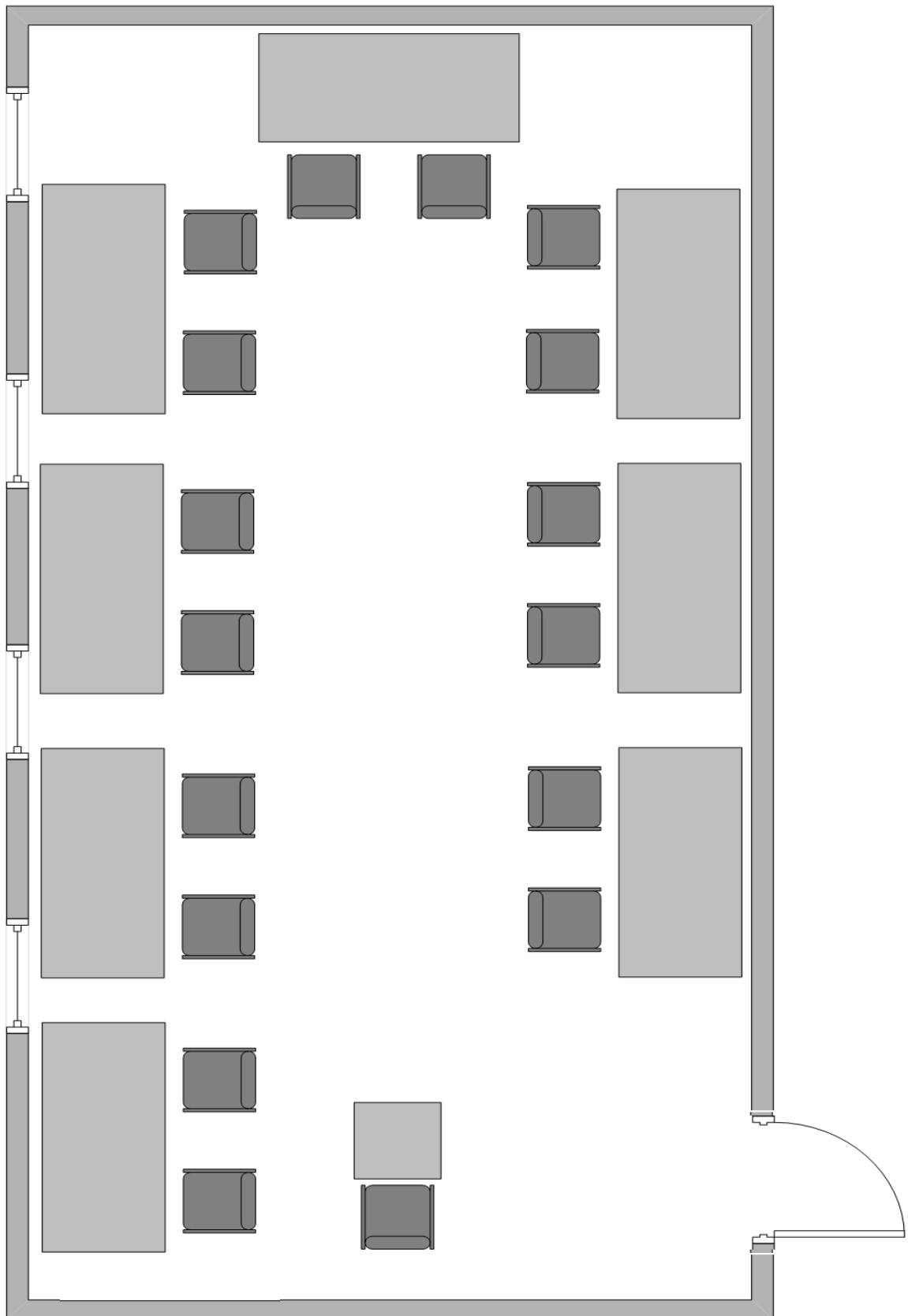


Рисунок 2 – План лаборатории по релейной защите и автоматике

1.2 Характеристики стенда «Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения (на основе программируемого контроллера)»

Лабораторный стенд имеет название «Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения (на основе программируемого микроконтроллера). Он предназначен для выполнения лабораторных практикумов по изучаемой студентами дисциплине «Релейная защита и автоматика». Лабораторная работа может нести репродуктивный характер, благодаря которому учащиеся выполняют поставленную цель, следуя инструкции и указаниям, а так же по правилам используют лабораторное оборудование и учебную литературу.

Стенд по релейной защите и автоматике состоит из типового комплекта, в который входит [6]:

- однофазный источник питания – 1 шт;
- модель линии электропередачи – 2 шт;
- кнопочный пост управления – 1 шт;
- блок световой сигнализации – 1 шт;
- контактор – 2 шт;
- однофазный трансформатор – 1 шт;
- блок программируемого контроллера – 1 шт;
- блок измерительных трансформаторов тока и напряжения – 1 шт;
- блок преобразователей напряжения – 1 шт;
- измеритель тока и времени – 1 шт;
- лабораторный стол – 1 шт;
- лабораторный стол с двухсекционным контейнером и двухуровневой рамой – 1 шт;
- набор аксессуаров для комплекта РЗАСЭСК1-С-К – 1 шт;
- ноутбук – 1 шт;

- табличка информационная с подсветкой "Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения (на основе программируемого контроллера)" РЗАСЭСК1-С-К – 1 шт.



Рисунок 3 – Внешний вид стенда «Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения»

Номинальная мощность стенда 50 Вт, электропитание осуществляется от однофазной сети переменного тока с рабочим нулевым и защитным проводниками напряжения 220 В, с частотой 50 Гц. Ширина стенда составляет 800 мм, длина 1820 мм, высота 1600 мм, а масса 80 килограмм.

В лабораторный практикум входят работы по релейной защите такие как:

- моделирование максимальной токовой защите линии электропередач, Максимальная токовая защита (МТЗ) – это распространенный вид защиты, принцип действия которого заключается срабатывании защиты на отключение в случае увеличения силы тока до значения уставки.

- моделирование мгновенной токовой отсечки линии электропередачи, принцип действия данной защиты аналогичен МТЗ, отличается отсечка в мгновенном срабатывании, а МТЗ дает сигнал на отключение только по истечении промежутка времени – выдержкой времени;
- моделирование дифференциальной защиты, заключается в сравнении токов фаз на входе и выходе защищаемого элемента;
- автоматическое включение резервного питания нагрузки – это устройство, осуществляющее бесперебойную работу системы энергоснабжения путем включения резервного источника, при отключении основного рабочего.

Информация о данном стенде взята из каталога Группы компании «ГалСен» [6]. Изготовитель заявляет о таких преимуществах как:

- легкая компоновка электрических цепей из сменных блоков по принципу конструктора, интуитивно понятному как учащемуся, так и самому преподавателю;
- изготовление под заказ. Перечень сменных функциональных блоков может быть расширен или сокращен под задачи заказчика;
- наглядные результаты опытов на реальных аналоговых, цифровых и виртуальных измерительных приборах;
- надёжная защита стенда от перегрузок, коротких замыканий, неумелого обращения;
- электробезопасность — защита пользователя от поражения электрическим током, устройство защитного отключения;
- продуманный дизайн для творческого решения учебных задач;
- промышленное изготовление, послегарантийная техподдержка от разработчиков на весь срок службы оборудования.

2 РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛАБОРАТОРИИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

2.1 Расчёт номинальных нагрузок стендов

В лаборатории предполагается установить 8 стендов с одним номинальным напряжением. Учитывая лабораторные работы по ряду дисциплин, рассчитаем номинальные электрические нагрузки для всех стендов по номиналу напряжения.

Номинальные значения питающего напряжения будут равны максимальной мощности подключенных электроприемников в данной лабораторной работе.

$$P_n = \sum P_n. \quad (1)$$

Рассчитаем номинальные мощности питающих напряжений для одного стенда:

$$P_{n\sim 220} = 0,05 \cdot 8 = 0,4 \text{ кВт.}$$

Коэффициент нагрузки для нагрузки на переменном напряжении сводим в таблицу 5.

Таблица 1 - Номинальные нагрузки стендов

Наименование электроприемника	$U_n, \text{ В}$	$P_n, \text{ кВт}$	$\text{Cos}\varphi$
Лабораторный стенд	~220	0,4	0,67

Нагрузки приняты исходя из нагрузки на лабораторных работах.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Одним из основных этапов проектирования систем электроснабжения объекта, является правильное определение ожидаемых электрических нагрузок, как отдельных электроприемников, так и узлов нагрузки на всех уровнях системы электроснабжения.

Расчетные значения нагрузок - это нагрузки, соответствующие такой неизменной токовой нагрузке (I_p), которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему тепловому воздействию (не превышая допустимых значений) на элемент системы электроснабжения.

Зная электрические нагрузки, можно выбрать нужную мощность силовых трансформаторов, мощность и место подключения компенсирующих устройств, выбрать и проверить токоведущие части по условию допустимого нагрева, рассчитать потери и колебания напряжения, выбрать виды защит.

Существуют различные методы расчета электрических нагрузок, которые в свою очередь делятся на:

- основные;
- вспомогательные.

Основные методы расчета электрических нагрузок следующие:

- по номинальной мощности и коэффициенту использования;
- по номинальной мощности и коэффициенту спроса;
- по средней мощности и расчетному коэффициенту;
- по средней мощности и отклонению расчетной нагрузки от средней;
- по средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузки.

Применение того или иного метода определяется допустимой погрешностью расчетов и наличия исходных данных[9].

Расчет электрических нагрузок ведется по уровням проектирования.

Воспользуемся методом по номинальной мощности и коэффициенту использования. Расчет выполняется, используя формулу Ф636-90. Расчет электрических нагрузок электроприемников $U < 1\text{кВ}$ производится для каждого узла питания, а также в целом по лаборатории. При наличии в справочниках интервальных значений $K_{и}$ следует принимать для расчета наибольшее значение. Расчет производим для нагрузок напряжениями переменного тока 220 В и для постоянного тока, для последующего сравнения мощности трансформатора.

Расчетная активная мощность учебного лабораторного стенда определяется по формуле:

$$P_p = P_c \cdot K_p, \quad (2)$$

где K_p - коэффициент расчетной мощности;

P_c - групповая средняя активная мощность, кВт.

$$P_p = 0,4 \cdot 1,96 = 0,78 \text{ кВт.}$$

Групповая средняя активная мощность определяется по формуле:

$$P_c = \sum P_n \cdot K_{и}, \quad (3)$$

где $\sum P_n$ - суммарная номинальная мощность, кВт;

$K_{и}$ - коэффициент использования,

$$P_c = 0,4 \cdot 1 = 0,4 \text{ кВт.}$$

Суммарная средняя реактивная мощность определяется по формуле:

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

$$Q_c = 0,4 \cdot 1,05 = 0,42 \text{ квар.}$$

Расчетная реактивная мощность определяется по формуле (5), а эффективное число электроприемников по формуле (6):

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_c; \quad (5)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 0,42 = 0,46 \text{ квар.}$$

$$n_{э} = (2 \cdot \sum P_n) / P_{\max.н}, \quad (6)$$

где $n_э$ – эффективное число электроприемников, шт;

$$n_э = (2 \cdot 0,4) / 0,05 = 16 \text{ шт.}$$

Определяем полную расчетную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (7)$$

$$S_p = \sqrt{0,78^2 + 0,46^2} = 0,9 \text{ кВА.}$$

Расчеты по формулам (2-7) сводим в таблицы 2 и 3.

Таблица 2 – Расчет электрических нагрузок

Наименование узлов питания и групп ЭП	Количество приемников рабочих/резервных, n	Установленная мощность, кВт		Общая рабочих / резервных $\sum P_n$, кВт	K_n	$\cos\phi$	$\text{tg}\phi$
		Одного ЭП наименьшего, наибольшего					
		$P_{\text{нmin}}$, кВт	$P_{\text{нmax}}$, кВт				
ЭП ~220	8	0,05	0,05	0,4	1	0,67	1,05

Таблица 3 – Расчет электрических нагрузок

Наименование узлов питания и групп ЭП	Средняя нагрузка		$n_э$	K_p	Максимальная нагрузка		
	P_c , кВт	Q_c , квар			P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
ЭП ~220	0,4	0,42	16	1,96	0,78	0,46	0,9

2.3 Расчет и выбор кабелей для подключения стенов

Согласно государственным стандартам, кабели являются самыми защищенными конструкциями из всех «кабельных изделий», которые мы знаем, как кабели и провода.

Проводная часть кабеля, или «жилы», изготавливается из цветных металлов с высокими показателями электропроводимости: меди и алюминия.

Жила может состоять из одного проводника или множества свитых тонких проволок. Технологически однопроводная жила лучше проводит электрический ток, но чем толще проводник, тем труднее его согнуть.

По форме сечения проводники («жилы») разделяются на круглые, секторные и сегментные.

Оболочки кабеля делятся:

- бумажная пропитанная;
- полимерная (полиэтиленовая и поливинилхлоридная);
- прочие (резина, лак, шелк, х/б волокно, полистирол).

Расчетный ток I_p А, нагрузки определяются по следующей формуле:

- для однофазной цепи переменного тока:

$$I_p = P / (\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi), \quad (9)$$

где P - расчетная максимальная нагрузка, Вт;

U - номинальное напряжение сети, В;

$\cos\varphi$ - коэффициент мощности.

Расчетный ток ЭП ~220 первого учебного лабораторного стенда определится по формуле (9):

$$I_p = (0,4 \cdot 1000) / (220 \cdot 0,67) = 2,7 \text{ А.}$$

Аналогичным способом рассчитаем другие ЭП и занесем данные в таблицу 4.

Диаметр жилы кабеля выбираем согласно следующему условию, а данные заносим в таблицу 4.

$$I_{\text{д.к.}} \geq I_p \quad (10)$$

Выбираю кабель марки ШВВП 2х0,75 сечением $S=0,75 \text{ мм}^2$, $I_{\text{д.к.}} = 6 \text{ А}$.

$6 \text{ А} > 2,7 \text{ А}$.

Условие выполняется, следовательно, провод выбран правильно.

Так же выбранный кабель необходимо проверить на потерю напряжения по следующей формуле:

$$\Delta U = \left(\frac{10^5}{U_{\text{НОМ}}^2 \cdot \cos\varphi} \right) \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi), \quad (11)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ - номинальное напряжение сети, В;

$P_{\text{НОМ}}$ - номинальная мощность электроприемника, кВт;

l - длина питающей линии, км;

r_0 - активное сопротивление проводника, мОм/м;

x_0 - реактивное сопротивление проводника, мОм/м.

Проверяю выбранный провод для электроплиты на потерю напряжения по формуле (12):

$$\Delta U = \left(\frac{10^5}{220^2 \cdot 0,67} \right) \cdot 0,05 \cdot ((0,27 \cdot 0,67 + 0,005 \cdot 0,74) \cdot 10^{-3}) = 2,88\%.$$

Так как $\Delta U < 5\%$, то следует что кабель выбран верно.

Таблица 4 - Выбор кабелей для подключения стенов

Наименование ЭП		$P_{\text{Н}}$, кВт	$I_{\text{р}}$, А	$\cos\varphi$	Марка кабеля	$I_{\text{доп}}$, А	ΔU , %
Лабораторный стенд	ЭП ~220	0,45	3,05	0,67	ШВВП (2x0,75)	6	2,88

Провод ШВВП имеет универсальное применение в офисах и промышленности и рассчитан на подключение к электрической сети разнообразных приборов и агрегатов, нуждающихся в прокладке наружной временной или постоянной проводки. Провод выпускается с двумя или тремя токопроводящими жилами.

За счет двойной полимерной защитной изоляции и оболочки применение провода ШВВП не ограничивается промышленным назначением для прокладки электрических сетей оборудования.

Первая буква – Ш, говорит нам что это шнур. Вторая буква – В, означает виниловую изоляцию (ПВХ). Третья буква снова «В», говорит о том, что шнур данной марки имеет двойную изоляцию. Четвертая буква – П. Она означает что шнур плоский.

2.4 Расчет и выбор автоматов защиты

Главная задача автоматического выключателя – быстрое определение чрезмерного тока и обесточивание сети раньше начала повреждения кабеля и подключенных к линии устройств. Токи, представляющие опасность для сети это:

- токи перегрузки, появление которых происходит из-за включения в сеть приборов, суммарная мощность которых превышает номинальную мощность выключателя. Еще одной причиной может стать неисправность какого-либо устройства;

- сверхтоки, вызванные коротким замыканием, которое происходит из-за соединения между собой фазного и нейтрального проводников. В нормальном режиме они подключены к нагрузке по отдельности.

Приборы класса А обладают самой высокой чувствительностью. Тепловой расцепитель в устройствах с времятоковой характеристикой А чаще всего срабатывает при превышении силой тока номинала АВ на 30%. Катушка электромагнитного расцепления обесточивает сеть в течение примерно 0,05 сек, если электроток в цепи превышает номинальный на 100%. Если по какой-либо причине после увеличения силы потока электронов в два раза электромагнитный соленоид не сработал, биметаллический расцепитель отключает питание в течение 20 – 30 сек.

Автоматы, имеющие времятоковую характеристику А, включаются в линии, при работе которых недопустимы даже кратковременные перегрузки. К таковым относятся цепи с включенными в них полупроводниковыми элементами.

Аппараты категории В обладают меньшей чувствительностью, чем относящиеся к типу А. Электромагнитный расцепитель в них срабатывает при превышении номинального тока на 200%, а время на срабатывание

составляет 0,015 сек. Срабатывание биметаллической пластины в размыкателе с характеристикой В при аналогичном превышении номинала АВ занимает 4-5 сек.

Оборудование этого типа предназначено для установки в линиях, в которые включены розетки, приборы освещения и в других цепях, где пусковое повышение электротока отсутствует либо имеет минимальное значение.

Устройства типа С наиболее распространены в бытовых сетях. Их перегрузочная способность еще выше, чем у ранее описанных. Для того, чтобы произошло срабатывание соленоида электромагнитного расцепления, установленного в таком приборе, нужно, чтобы проходящий через него поток электронов превысил номинальную величину в 5 раз. Срабатывание теплового расцепителя при пятикратном превышении номинала аппарата защиты происходит через 1,5 сек.

Установка автоматических выключателей с времятоковой характеристикой С, как мы и говорили, обычно производится в бытовых сетях. Они отлично справляются с ролью вводных устройств для защиты общей сети, в то время как для отдельных веток, к которым подключены группы розеток и осветительные приборы, хорошо подходят аппараты категории В.

Эти устройства имеют наиболее высокую перегрузочную способность. Для срабатывания электромагнитной катушки, установленной в аппарате такого типа, нужно, чтобы номинал по электротоку защитного автомата был превышен как минимум в 10 раз.

Срабатывание теплового расцепителя в этом случае происходит через 0,4 сек.

Устройства с характеристикой D наиболее часто используются в общих сетях зданий и сооружений, где они играют подстраховочную роль. Их срабатывание происходит в том случае, если не произошло своевременного

отключения электроэнергии автоматами защиты цепи в отдельных помещениях. Также их устанавливают в цепях с большой величиной пусковых токов, к которым подключены, например, электромоторы[11].



Рисунок 4 – Устройство автоматического выключателя

Определяем номинальный ток по формуле (9):

$$I_H = 0,45 / (0,22 \cdot 0,67) = 3,05 \text{ А.}$$

Выбираем автоматический выключатель по следующему условию, а данные заносим в таблицу 5:

$$I_{T.p} \geq 1,1 \cdot I_H \tag{12}$$

Выбираю автоматический выключатель для ЭП~220: ЗР 16А тип С 4,5кА ВА 47-29, $I_{T.p.} = 16 \text{ А}$ с дополнительной дифференциальной защитой.

$$I_{T.p} = 1,1 \cdot 2,7 = 3,36 \text{ А.}$$

$$16 \text{ А} \geq 3,36 \text{ А.}$$

Условие выполняется, следовательно, автоматический выключатель выбран правильно.

Таблица 5 - Расчет автоматов защиты

Наименование ЭП	P_n , кВт	I_n , А	$\cos\varphi$	$I_{т.р.}$, А	Марка защитного аппарата
Учебный стенд ~220	0,4	2,7	0,67	3,0	ЗР 25А тип С 4,5кА ВА 47-31

2.5 Расчёт токов короткого замыкания

Ток короткого замыкания может возникать в разных цепях, подключенных к различным источникам постоянного или переменного тока. Проще всего дело обстоит с обычным плюсом, который вдруг соединился с минусом, минуя полезную нагрузку. А вот с переменным током вариантов больше. Однофазный ток короткого замыкания возникает при соединении фазы с нейтралью или ее заземлении. В трехфазной сети может возникнуть нежелательный контакт между двумя фазами. Напряжение в 220 или более (при передаче энергии на большие расстояния по ЛЭП) вольт также может вызвать неприятные последствия, в том числе и дуговую вспышку в момент коммутации. Замкнуть может и все три (или четыре, вместе с нейтралью) провода одновременно, и ток трехфазного короткого замыкания будет течь по ним до тех пор, пока не сработает защитная автоматика. Но и это еще не все. В роторах и статорах электрических машин (двигателей и генераторов) и трансформаторах порой случается такое неприятное явление, как межвитковое замыкание, при котором соседние петли провода образуют своеобразное кольцо. Этот замкнутый контур обладает крайне низким сопротивлением в сети переменного тока. Сила тока короткого замыкания в витках растет, это становится причиной нагрева всей машины. Собственно, если такая беда произошла, не следует ждать, пока оплавится вся изоляция и электромотор задымится. Обмотки машины нужно перематывать, для этого

необходимо специальное оборудование. Это же касается и тех случаев, когда из-за «межвиткового» возник ток короткого замыкания трансформатора. Чем меньше обгорит изоляция, тем проще и дешевле будет перемотка.

При расчете токов короткого замыкания в сетях напряжением ниже 1000В необходимо учитывать индуктивные и активные сопротивления короткозамкнутой цепи.

На суммарное значение сопротивления значительно влияют: сопротивления автоматических выключателей, катушек трансформаторов тока, переходные сопротивления контактов, сопротивление проводников.

Составим схему замещения для цепи 220 В и изобразим на рисунке 5.

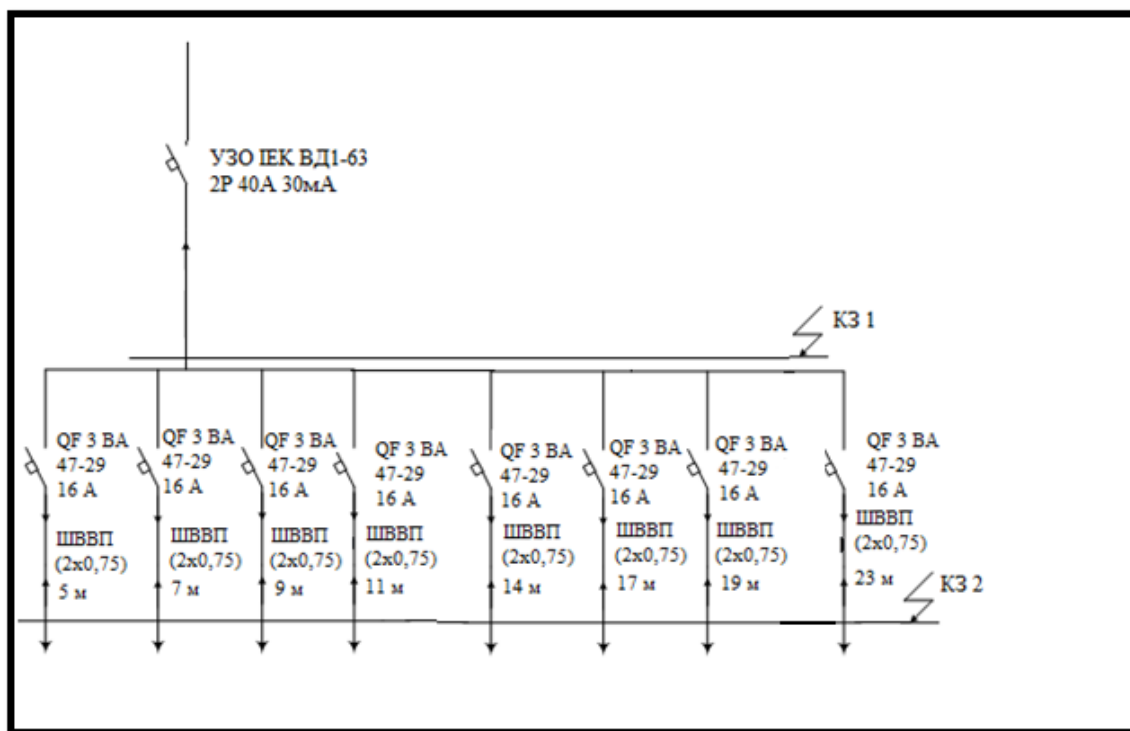


Рисунок 5 - Схема короткого замыкания

Составим схему замещения удельных сопротивлений на рисунке 6.

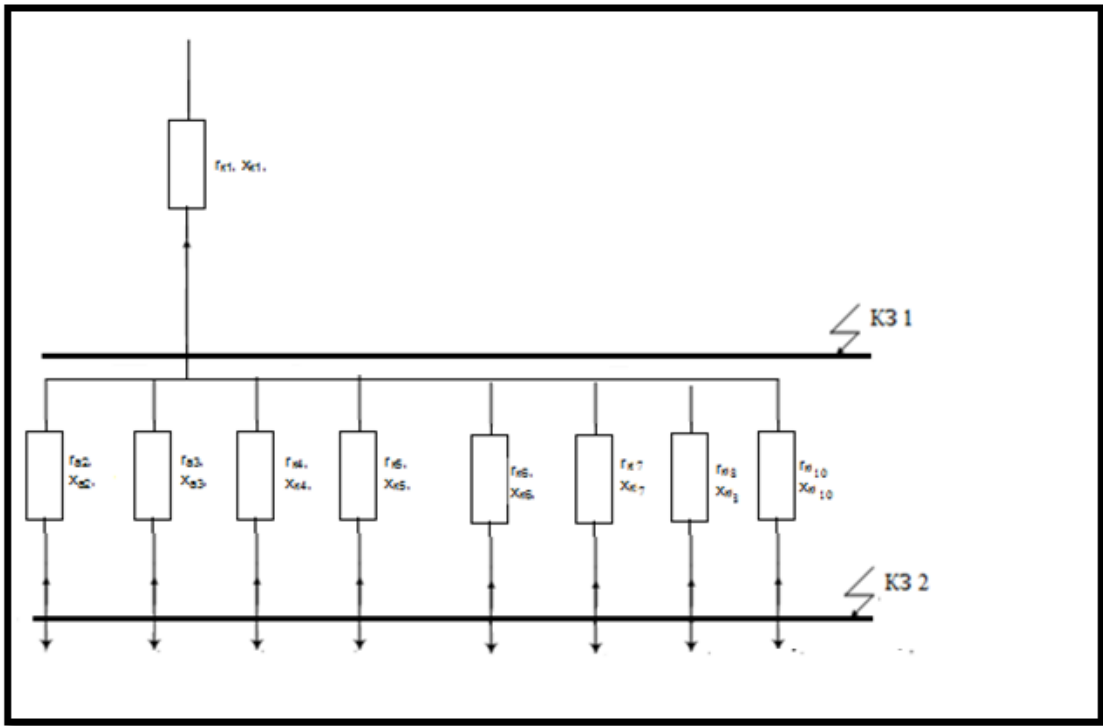


Рисунок 6 – Схема замещения

Выписываем активное удельное сопротивление всех элементов схемы в таблицу 6.

Таблица 6 – Удельное активное сопротивление элементов

$\Gamma_{a1},$ МОм	$\Gamma_{a2},$ МОм	$\Gamma_{a3},$ МОм	$\Gamma_{a4},$ МОм	$\Gamma_{a5},$ МОм	$\Gamma_{a6},$ МОм	$\Gamma_{a7},$ МОм	$\Gamma_{a8},$ МОм	$\Gamma_{a9},$ МОм	$\Gamma_{a10},$ МОм
0,92	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Выписываем реактивное удельное сопротивление всех элементов схемы в таблицу 7.

Таблица 7 - Удельное реактивное сопротивление элементов

$X_{p1},$ МОм	$X_{p2},$ МОм	$X_{p3},$ МОм	$X_{p4},$ МОм	$X_{p5},$ МОм	$X_{p6},$ МОм	$X_{p7},$ МОм	$X_{p8},$ МОм	$X_{p9},$ МОм	$X_{p10},$ МОм
0,073	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28

Рассчитаем суммарные активные и реактивные сопротивления для КЗ

1:

$$\sum r = \sum r_k \cdot l + \sum r_{др.}, \quad (13)$$

$$\sum x = \sum x_k \cdot l + \sum x_{др.}, \quad (14)$$

$$\sum r = 0,6 \cdot 126 + 0,92 = 76,52 \text{ мОм},$$

$$\sum x = 0,28 \cdot 126 + 0,073 = 35,4 \text{ мОм}.$$

Определим полное сопротивление КЗ2:

$$z = \sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2}, \quad (15)$$

$$z = \sqrt{(76,52)^2 + (35,4)^2} = 84,3 \text{ мОм}.$$

Ток короткого замыкания найдем по формуле КЗ1:

$$I_{к.з} = \frac{U_{\phi}}{z+z_m}, \quad (16)$$

где z_m - полное сопротивление трансформатора при однофазном КЗ2, мОм.

$$I_{к.з} = \frac{220}{84,3+63} = 414 \text{ А}.$$

По паспорту плавкой вставки или автомата, он должен отключать при токе короткого замыкания превышающим в 3-5 раз номинальный, возьмем наихудшее 3 раза:

$$I_{к.з.} \geq 3 \cdot I_{пз.вст.}, \quad (17)$$

$$14 \text{ А} \geq 3 \text{ А} \cdot 40 = 120 \text{ А}.$$

Условие выполняется, значит защита выбрана верно.

Для КЗ2 все расчеты сведем в таблицу 8:

Таблица 8 – Расчеты токов короткого замыкания

Наименование ЭП	$\sum r$, мОм	$\sum x$, мОм	$\sum z$, мОм	$I_{к.з.}$, А	$I_{т.р.}$, А	$3I_{т.р.}$, А	Результат
OF2 ВА 47-29 16А	81,2	39,3	89,4	404	16	48	Сработает

2.6 Расчет и выбор защитного заземления

В сетях с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В защитное заземление неэффективно, так как ток замыкания на землю оказывается здесь недостаточным для срабатывания максимальной токовой защиты и с уменьшением сопротивления заземлителя возрастает. В таких сетях защита от замыкания фазы на корпус достигается устройством зануления.

Таким образом, защитное заземление применяется в сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и в сетях напряжением выше 1000 В как с изолированной, так и заземленной нейтралью.

Защитное действие заземляющего устройства основано на снижении до безопасной величины тока, проходящего через человека в момент касания им поврежденной электроустановки.

При попадании напряжения на корпус электроустановки человек, коснувшись ее и имея хороший контакт с землей, замыкает собой электрическую цепь: фаза L1 — корпус электроустановки 1 — человек — земля — емкостные XL3, XL2 и активные RL3, RL2 сопротивления связи проводов с землей, фазы L3 и L2. По человеку пойдет ток. Несмотря на то что электрические провода сети установлены на изолированных опорах, между ними и землей существует электрическая связь. Она происходит за счет несовершенства изоляции проводов, опор и т. п. и наличия емкости между проводами и землей. При большом протяжении проводов эта связь становится значительной, а ее активное R и емкостное X сопротивления снижаются и становятся соизмеримыми с сопротивлением тела человека. Вот почему, несмотря на отсутствие видимой связи, человек, находящийся под напряжением и имеющий контакт с землей, замыкает собой электрическую цепь между различными фазами сети.

При наличии заземляющего устройства образуется дополнительная цепь: фаза L1 — корпус электроустановки — заземляющее устройство —

земля — сопротивления XL3, RL3, XL2, RL2 — фазы L3 и L2. В результате этого ток замыкания распределяется между заземляющим устройством и человеком. Так как сопротивление заземлителя (оно должно быть не более 10 Ом) во много раз меньше сопротивления человека (1000 Ом), то через тело человека будет проходить малый ток, не вызывающий его поражения. Основная часть тока пойдет по цепи через заземлитель.

Заземлители могут быть естественными и искусственными. В качестве естественных заземлителей используют металлические конструкции и арматуру зданий и сооружений, имеющие хорошее соединение с землей, проложенные в земле водопроводные, канализационные и другие трубопроводы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих и взрывоопасных газов и трубопроводов, покрытых изоляцией для защиты от коррозии).

В качестве искусственных заземлителей применяют одиночные или соединенные в группы металлические электроды, забитые вертикально или уложенные горизонтально в землю. Электроды изготавливают из отрезков металлических труб диаметром не менее 32 мм и толщиной стенок не менее 3,5 мм, угловой стали с толщиной полок не менее 4 мм, полосы сечением не менее 100 мм², а также из отрезков швеллеров, прутковой стали диаметром не менее 10 мм. Электроды, выполненные из более тонких профилей, вследствие коррозии быстро выходят из строя. Кроме того, тонкие профили имеют малый контакт с землей, поэтому их применение нежелательно. Длину электродов и расстояние между ними принимают не менее 2,5–3,0 м.

Между собой вертикальные электроды в групповом заземлителе соединяют с помощью сварки перемычкой, выполненной из аналогичных материалов и тех же сечений, что и сами электроды. Заземляющее устройство должно иметь вывод наружу (на поверхность земли), выполненное на сварке из таких же материалов. Оно служит для подсоединения заземляющего проводника.

Для осуществления заземляющих функций сопротивление заземляющего устройства в электроустановках напряжением до 1000 В в сети с изолированной нейтралью должно быть не более 4 Ом.

Необходимое сопротивление достигается установкой соответствующего количества электродов в заземлителе, определяемых расчетом.

Сопротивление заземляющего устройства — это отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю. Различают выносное и контурное заземляющие устройства.

Выносное устройство располагают за пределами площадки с заземляемым оборудованием. Его достоинство состоит в возможности выбора грунта с наименьшим удельным сопротивлением.

Контурное заземление выполняют забивкой электродов по контуру заземляемого оборудования и между ним. Такая установка электродов создает дополнительный защитный эффект за счет повышения и выравнивания (более равномерного распределения) потенциалов земли в зоне нахождения человека.

Согласно ГОСТ 12.1.030-81 защитному заземлению подлежат электроустановки:

- при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока — во всех случаях;
- при номинальном напряжении от 42 до 380 В переменного тока и от 110 до 440 В постоянного тока — при работах в условиях с повышенной опасностью и особо опасных;
- независимо от величины напряжения питания — во взрывоопасных помещениях.

Заземляющее устройство состоит из заземляющих проводников и заземлителей.

Заземляющие проводники электрически связывают металлические корпуса заземляемых частей электроустановка с заземлителем. В качестве заземляющих проводников могут быть использованы:

- специально предусмотренные для этой цели проводники;
- металлические конструкции зданий (фермы, колонны и т. п.);
- арматура железобетонных строительных конструкций и фундаментов.

В качестве штырей можно использовать металлический прут диаметром 16 мм и больше. Причем брать арматуру нельзя: поверхность у нее каленая, что меняет распределение тока. Также каленый слой в земле быстрее разрушается. Второй вариант — металлический уголок с полочками 50 мм. Эти материалы хороши тем, что в мягкий грунт их можно забить кувалдой. Чтобы это было легче делать, один конец заостряют, на второй приваривают площадку, по которой проще бить.

Иногда используют металлические трубы, один край которых сплюснен (заварен) в конус. В нижней их части (около полуметра от края) сверлятся отверстия. При пересыхании грунтов распределение тока утечки значительно ухудшается, а в такие стержни можно заливать соляной раствор, восстанавливая работу заземления. Минус этого способа — приходится под каждый стержень копать/бурить скважины — забить их кувалдой на нужную глубину не получится.

Штыри-заземлители должны уходить в грунт ниже глубины промерзания как минимум на 60-100 см. В регионах с засушливым летом желательно чтобы штыри находились хотя бы частично во влажном грунте. Потому используются в основном уголки или прут длиной 2-3 м. Такие размеры обеспечивают достаточную площадь соприкосновения с грунтом, создающую нормальные условия для рассеивания токов утечки.

Пример использования металлических прутков показан на рисунке 7.

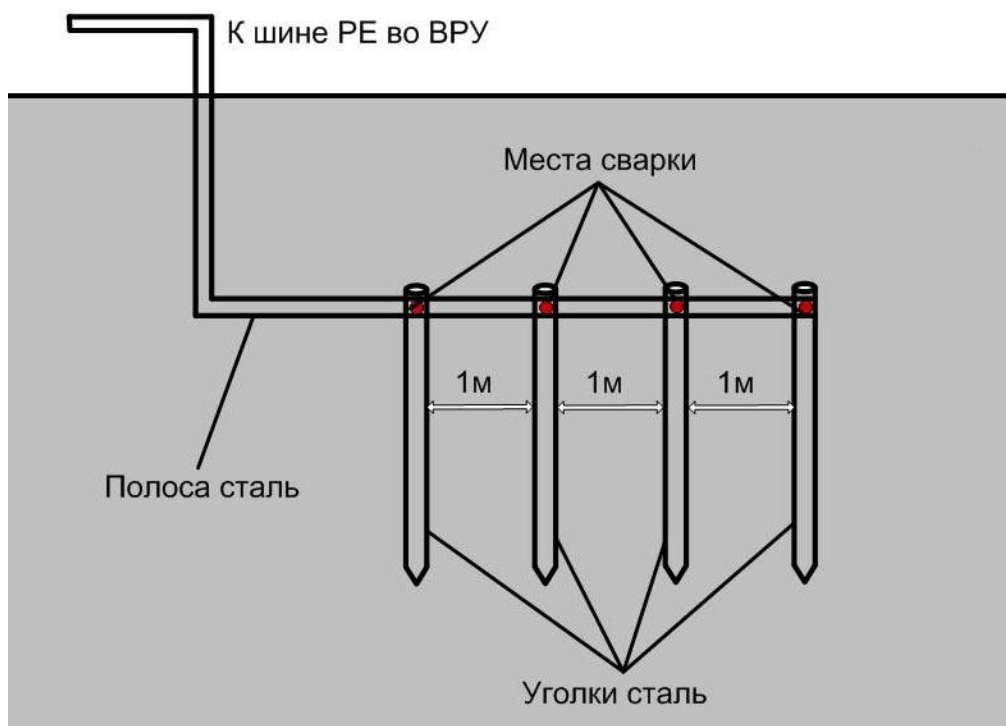


Рисунок 7 - Заземление с использованием металлических прутков

Работа защитного заземления состоит в том, чтобы рассеивать по большой площади токи утечки. Происходит это за счет плотного контакта металлических заземлителей — штырей и полос — с грунтом. Поэтому элементы заземления никогда не красят. Это очень сильно снижает токопроводимость между металлом и землей, защита становится неэффективной. Предотвратить коррозию в местах сварки можно антикоррозионными составами, но не краской.

Пример использования металлических труб показан на рисунке 8.

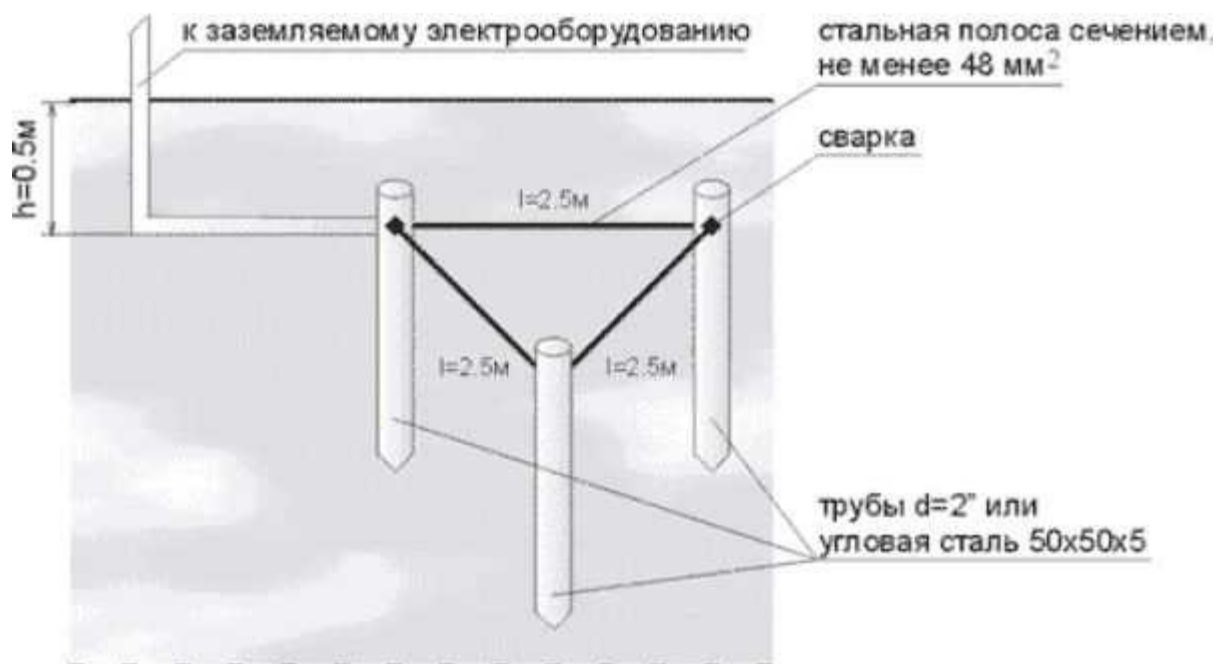


Рисунок 8 - Заземление с использованием металлических труб

Второй важный момент: заземление должно иметь маленькое сопротивление, а для этого очень важен хороший контакт. Он обеспечивается сваркой. Все соединения провариваются, причем качество шва должно быть высоким, без трещин, каверн и других дефектов. Еще раз обращаем внимание: заземление в частном доме нельзя делать на резьбовых соединениях. Со временем металл окисляется, разрушается, сопротивление многократно возрастает, защита ухудшается или вообще не работает.

Все описываемые ранее устройства — из забиваемых уголков, труб и стрежней — называют традиционными. Их недостаток — большой объем земельных работ и большая площадь, которая требуется при устройстве заземлителя. Все потому, что необходима определенная площадь контакта штырей с грунтом, достаточная для того чтобы обеспечить нормальное «растекание» тока. Сложность может вызвать и необходимость сварки — по-другому соединять элементы заземления нельзя. Зато плюс этой системы — относительно небольшие затраты. Если делать традиционное заземление в частном доме своими руками, оно по максимуму обойдется в 2000-3000

рублей. Это если покупать весь металл и платить за сварку, а остальные работы проводить самостоятельно

Несколько лет назад появились модульные штыревые системы, показанные на рисунке 9. Это комплект штырей, которые забиваются на глубину до 40 м. То есть получается очень длинный заземлитель, который уходит на глубину. Фрагменты штыря соединяются друг с другом при помощи специальных хомутов, которые не только фиксируют их, но и обеспечивают качественное электрическое соединение.



Рисунок 9 - Набор модульной системы заземления

Плюс модульного заземления — малая площадь и меньший объем работ, которые необходимы. Требуется небольшой приямок со сторонами 60х60 см и глубиной 70 см, траншея, соединяющая заземлитель с домом. Штыри длинные и тонкие, забивать их в подходящий грунт несложно. Вот тут и подошли к основному минусу: глубина большая, и если на пути встретиться, например, камень, придется начинать сначала. А вынуть стержни — это проблема. Они не сварены, а выдержит или нет хомут — вопрос.

Второй минус — высокая цена. Самостоятельная установка проблематична, так как забивать эти стержни кувалдой не получится. Нужен специальный пневматический инструмент, который научились заменять перфоратором с ударным режимом. Еще необходима проверка сопротивления после каждого забитого стержня. Но если вы не хотите связываться со сваркой и земельными работами, модульное штыревое заземление — неплохой вариант.

Необходимо найти число вертикальных заземлителей для заземления учебной лаборатории напряжением 0,4 кВ. Грунт в районе университета на глубине 0,5 м суглинок. Выбираю в качестве вертикального электрода прутковую сталь с диаметром 20 мм и длиной 3 м. В качестве горизонтального электрода стальная полоса 40×4 мм.

Определяем расчетное сопротивление грунта, Ом·м:

$$\rho_{\psi} = \rho_{\text{из}} \cdot \psi, \quad (18)$$

где $\rho_{\text{из}}$ - измеренное сопротивление грунта, Ом·м;

ψ – коэффициент повышения сопротивления.

$$\rho_{\psi} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Определяем сопротивление одиночного заземлителя:

$$R_0 = (0,366 \cdot \rho/l) \cdot \lg(4 \cdot l/d). \quad (19)$$

В качестве электрода выбран электрод из прутковой стали длиной 3м и диаметром 20мм.

$$R_0 = (0,366 \cdot 200/3) \cdot \lg(4 \cdot 3/20) = 5,413 \text{ Ом}.$$

$$n = R_0/(\eta \cdot R_{\text{д}}), \quad (20)$$

где $R_{\text{д}}$ - допустимое сопротивление заземляющего контура, $R_{\text{доп}} \leq 4 \text{ Ом}$;

η - коэффициент экранирования.

$$n = 5,413/(0,58 \cdot 4) = 2,33.$$

Округляем полученное значение n до ближайшего целого:

$$n_3=3,$$

$$R_{\text{д}} = R_0 / (\eta \cdot \eta_3), \quad (21)$$

$$R_{\text{д}} = 5,413 / (0,58 \cdot 3) = 3,11 \text{ Ом.}$$

Выполняем проверку:

$$R_{\text{дз}} \geq R_{\text{д}}, \quad (22)$$

$$3,11 \text{ Ом} \geq 4 \text{ Ом.}$$

Условие выполняется из этого следует, что нужно установить 3 вертикальных заземлителя.

3. РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «МОДЕЛИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ»

Данная лабораторная работа содержит описание и порядок его выполнения. Целью лабораторной работы является:

1. Закрепление полученных теоретических знаний по изучаемому курсу.
2. Ознакомление на практике с основным видом релейной защиты.
3. Овладение навыками построения схем релейной защиты.

Лабораторная работа включает в себя:

- теоретические сведения;
- описание задания;
- пошаговые инструкции по его выполнению;
- контроль усвоения.

В конце каждой лабораторной работе результат проверяется и оценивается руководителем. В качестве контроля, после выполнения лабораторной работы необходимо пройти тест. По его результатам выясняется, освоен ли студентом материал по данной теме.

Ниже представлено подробное описание первой лабораторной работы. Данная лабораторная работа посвящена чтению принципиальных электрических схем. После выполнения данного практикума обучающийся будет знать изображения и обозначение основных элементов электрических схем.

При первом посещении лаборатории релейной защиты студент должен ознакомиться с инструкцией по технике безопасности, расписаться в соответствующем журнале и в дальнейшем неукоснительно соблюдать правила по технике безопасности.

При выполнении каждого лабораторного практикума студент должен вести записи (протоколы испытаний), после выполнения работы утвердить их у преподавателя, затем дома оформить в виде отчета. Отчеты должны быть составлены технически грамотно, аккуратно, с соблюдением соответствующих ГОСТ, нормативных и руководящих документов на обозначение электрических и физических величин и элементов схем; каждый отчет необходимо заканчивать самостоятельными выводами, подходя творчески к полученным экспериментальным данным и, используя свои теоретические знания, дать предложения по возможным вариантам изменения и усовершенствования конкретных схем.

В процессе подготовки к лабораторным практикумам, а также при их выполнении и оформлении отчетов необходимо пользоваться указанными литературными источниками.

Основные правила техники безопасности в лаборатории релейной защиты и автоматики

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных практикумов не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторного практикума по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторного практикума не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

1. К выполнению лабораторного практикума следует приступать только после полного уяснения его содержания и получения допуска к нему.

2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже подключить параллельные цепи.

7. После того как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов, рукояток других регулирующих устройств, а также уставок реле тока, напряжения и времени.

8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- прикасаться к вращающимся частям электрических машин; а также к подвижным и неизолированным частям электрических аппаратов.
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование или приборы с других рабочих мест без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от стендов с собранными электрическими схемами, находящимися под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы и аппараты током или напряжением, превышающим номинальное значение, если это не предусмотрено условием выполнения конкретного лабораторного практикума.

Следует постоянно помнить, что:

1. Проверку наличия, подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольным вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

2. При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, значением 0,01 А уже является опасным для жизни.

Лабораторная работа № 1

Тема: «Моделирование максимальной токовой защиты линии электропередач».

Цель: изучение механизма работы МТЗ, ее принципиальной схемы, и устройства срабатывания.

Длительность: 180 минут.

Оборудование: стенд «Релейная защита и автоматика в электроснабжении», компьютер.

Теоретические сведения:

Максимальная токовая защита (МТЗ)

При возникновении короткого замыкания в электрической системе в большинстве случаев возрастает ток до величины, значительно превосходящей максимальный рабочий ток. Защита, реагирующая на это возрастание, называется токовой. Токовые защиты являются наиболее простыми и дешевыми. Поэтому они широко применяются в сетях до 35 кВ включительно.

Комплекты токовых защит устанавливаются со стороны питания линии для отключения выключателей 1, 2, 3 (рисунок 10). При повреждении на одном из участков сети ток повреждения проходит через все реле. Если ток короткого замыкания больше тока срабатывания защит, эти защиты придут в действие. Однако, по условию селективности, сработать и отключить выключатель должна только одна максимальная токовая защита – ближайшая к месту повреждения.

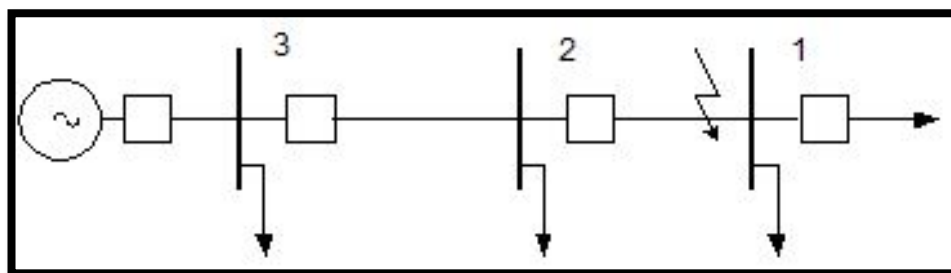


Рисунок 10 – Питающая линия

Такое действие защиты может быть достигнуто двумя способами. Первый основан на том, что ток повреждения уменьшается при удалении от места повреждения.

Выбирается ток срабатывания защиты больше максимального значения тока на данном участке при повреждении на следующем, более удаленном от источника питания (рисунок 11). Второй способ – создание у защит выдержек времени срабатывания тем больших, чем ближе защита расположена к источнику питания.

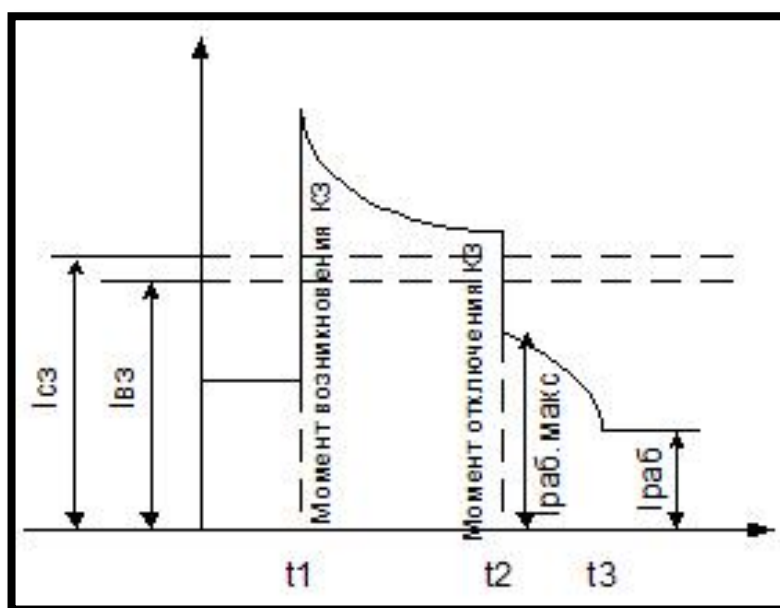


Рисунок 11 – График срабатывания защиты

В момент времени t_1 происходит короткое замыкание. В момент времени t_2 срабатывает максимальная токовая защита (МТЗ) и отключает выключатель. Двигатели при коротком замыкании в результате снижения

напряжения затормозились и ток их при восстановлении напряжения увеличился. Поэтому вводится коэффициент k_3 – коэффициент самозапуска двигателей. Также вводится коэффициент надежности k_H для учета различного рода погрешностей – трансформаторов тока и др. После отключения внешнего короткого замыкания максимальная токовая защита должна вернуться в исходное состояние. Ток возврата определяется по следующему выражению:

$$I_{вз} = k_H \cdot k_3 \cdot I_{\text{раб.макс}}$$

Значения токов срабатывания и возврата должны быть близки.

Вводится коэффициент возврата:

$$k_B = I_{вз} / I_{сз}$$

С учетом коэффициента возврата ток срабатывания определяется следующим образом:

$$I_{сз} = k_H \cdot k_3 \cdot I_{\text{раб.макс}} / k_B$$

У «идеальных» реле коэффициент возврата равен 1. Реальные реле защиты имеют коэффициент возврата меньше 1 за счет трения в подвижных частях и др. Чем выше коэффициент возврата, тем меньший ток срабатывания можно выбрать при данной нагрузке, следовательно, тем чувствительнее максимальная токовая защита.

Выдержки времени защит выбираются таким образом, чтобы каждая последующая по направлению к источнику питания защита имела время срабатывания большее, чем максимальная выдержка времени предыдущей на величину ступени селективности (рисунок 12).

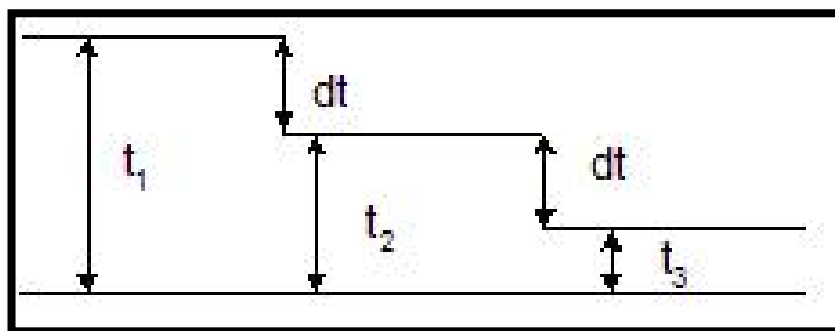


Рисунок 12 – Выдержки времени

Степень селективности зависит от погрешностей измерительных органов защит и разброса времени срабатывания выключателей.

Существуют несколько типов характеристик срабатывания токовых защит – независимые и зависимые. Зависимые характеристики срабатывания удобно согласовывать с защитными характеристиками предохранителей и характеристиками нагрева защищаемых присоединений, например электродвигателей. Наиболее часто используются зависимые характеристики по стандарту МЭК:

$$t_{с.з.} = \frac{A}{k-1},$$

где A – коэффициенты;

$$k – \text{кратность тока, } k = \frac{I_{\text{раб}}}{I_{\text{сп}}}.$$

Задание на лабораторной работе: прочитать теоретические сведения, собрать принципиальную электрическую схему МТЗ, смоделировать срабатывание МТЗ при возникновении КЗ, построить график по полученным данным.

Требования к отчету

Отчёт по лабораторному практикуму оформляется индивидуально каждым студентом, выполнившим необходимые эксперименты (независимо от того, выполнялся ли эксперимент индивидуально или в составе группы

студентов). Страницы отчёта следует пронумеровать (титульный лист не нумеруется, далее идет страница 2 и т.д.).

Титульный лист отчёта должен содержать фразу: “Отчёт по лабораторному практикуму «Название работы», чуть ниже: Выполнил студент группы (номер группы) (Фамилия, инициалы)”. Внизу листа следует указать текущий год.

Например, Отчёт по лабораторной работе № (номер работы) «Моделирование максимальной токовой защиты», выполнил студент группы УПЭ-401 Иванов И.И. (рисунок 13).

<p>Министерство образования и науки Российской Федерации Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный профессионально- педагогический университет»</p> <p>Отчет по лабораторному практикуму № номер по дисциплине "название дисциплины"</p> <p>«Название темы лабораторного практикума»</p> <p>Выполнил(а): студент(ка) группы Фамилия И.О.</p> <p>Проверил: к.ф.-м.н., доцент Фамилия И.О.</p> <p>Екатеринбург, 2018</p>

Рисунок 13 – Титульный лист отчета

Вторая страница текста, следующая за титульным листом, должна начинаться с формулировки Цели работы.

Отчёт, документ в формате Word, как правило, должен содержать следующие основные разделы:

1. Цель работы (такая же, как и цель лабораторной работы)
2. Теоретическая часть (расчеты, перечень проделанной работы).
3. Оборудование (приборы, используемые в лабораторном практикуме).
4. Результаты (таблицы экспериментальных данных, графики).
5. Выводы (какие получены результаты, достигнута ли цель, выполнены задачи).

Технология работы:

1. Определите значение тока МТЗ по формуле (23), учитывая то, что ток $I_{\text{раб.макс}} = 7 \text{ А}$, а так же изучите график характеристики МТЗ (рисунок 14):

$$I_{\text{с.з.}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{сзп}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (23)$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент надежности несрабатывания защиты;

$k_{\text{сзп}}$ – коэффициент самозапуска нагрузки, отражающий увеличение рабочего тока;

k - коэффициент возврата максимальных реле тока.

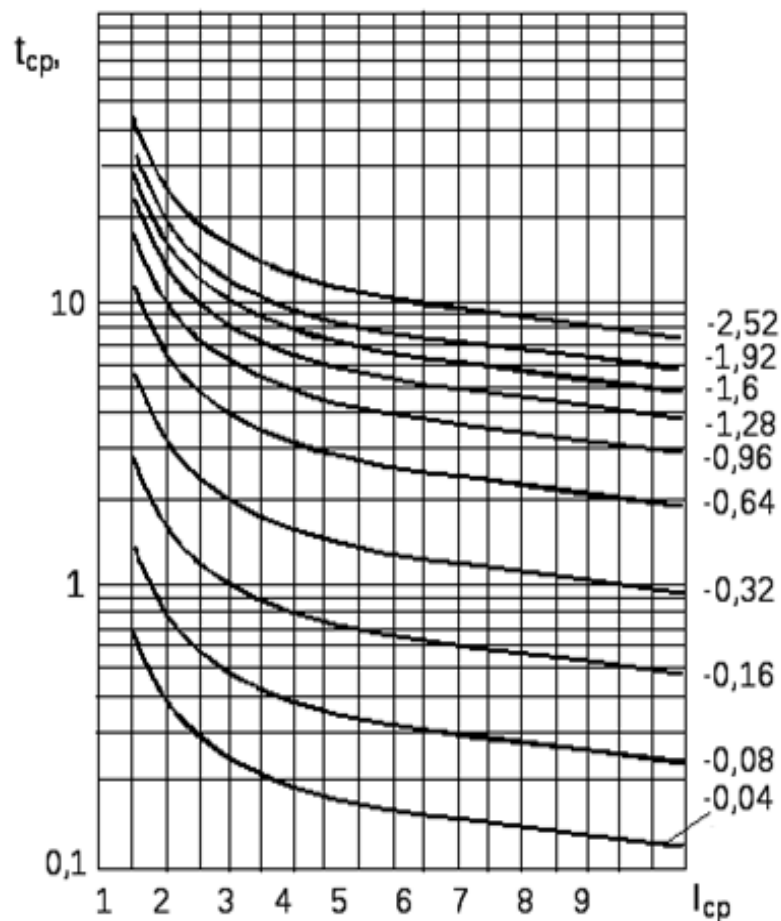


Рисунок 14 – Характеристика максимальной токовой защиты

2. Полученный результат внесите в параметры для моделирования МТЗ.
3. Соберите принципиальную схему как на рисунке 14, используя электрооборудование и его составляющие лабораторного стенда «Релейная защита и автоматика в электроснабжении».

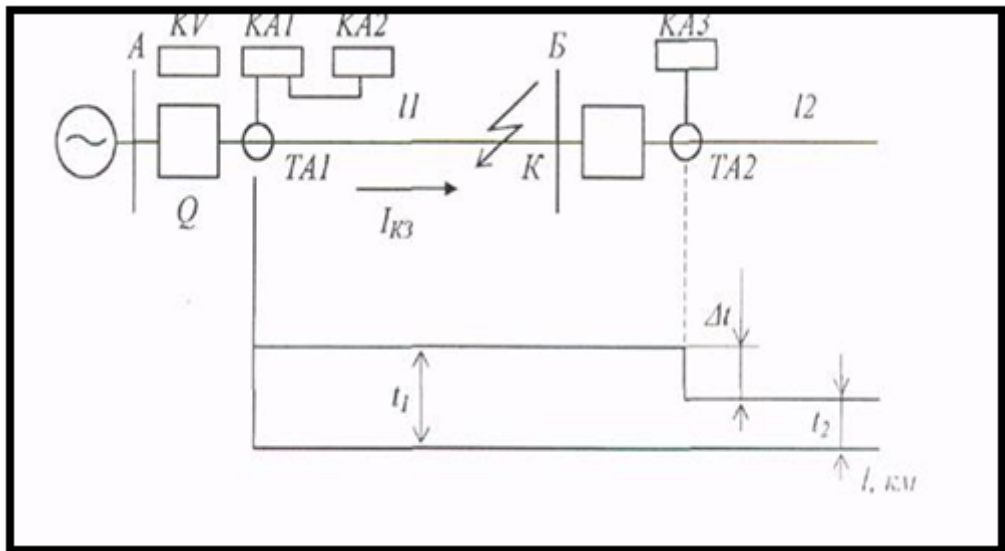


Рисунок 15 – Выработка тока срабатывания защиты

4. Перед включением стенда, пригласите преподавателя для проверки собранной схемы.
5. Включите стенд, нажав на кнопку включения, находящуюся в правом верхнем углу.
6. Перед началом работы удостоверьтесь в том, что индикатор выключателя показывает его включенное состояние - горит зеленым цветом.
7. Установите номинальное напряжение 150 В.
8. На лабораторном стенде начните плавно увеличивать значение тока в цепи до 9 А, чтобы создать ситуацию возникновения тока КЗ в линии.
9. После на лабораторном стенде должен загореться индикатор, указывающий на включение защиты.
10. Промежуточное время, за которое сработала защита, запишите в таблицу 9 отчета, оно отражается на экране компьютера красным цветом, в строку МТЗ, заполнить третий столбец t, c .
11. Начните уменьшать значение тока до 6 А.

12. Убедитесь в том, что защита сработала, обращая внимание на индикатор автоматического выключателя, он должен загореться красным цветом.

13. Затем, резко увеличьте значение тока до 10 А и следите за тем, чтобы токовая отсечка сработала без выдержки времени.

14. Запишите результаты в таблицу.

Таблица 9 – Полученные данные

Тип работы	Результат измерения		
	1	2	3
	U, B	$I_{с.з.}, A$	t, c
МТЗ			
Отсечка			

15. Подготовьте отчет о проделанной работе и ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Каковы принцип действия и область применения МТЗ линии электропередачи?

2. Каково назначение элементов релейной частей защиты?

3. Алгоритм работы защиты при КЗ на защищаемой ЛЭП?

4. Как обеспечивается селективность максимальной токовой защиты (МТЗ)?

5. Что такое ступень селективности и от чего зависит ее величина?

6. Как выбирается ток срабатывания МТЗ?

7. Как определить ток срабатывания токового реле, если известен ток срабатывания защиты?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе были решены следующие задачи:

- созданы схемы расстановки стендов и системы электроснабжения в лаборатории релейной защиты и автоматики;
- рассчитаны электрические нагрузки;
- выбрана схема электроснабжения;
- выбраны кабели и провода;
- выбрано защитное оборудование;
- разработан лабораторный практикум;

При разработке электроснабжения лаборатории релейной защиты и автоматики были получены следующие результаты:

Предложен проект создания электротехнической лаборатории в образовательном учреждении среднего профессионального образования. В работе осуществлён расчёт короткого замыкания, заземления, общей мощности стендов и лабораторных столов, находящихся в лаборатории. Это позволило выбрать главный распределительный щит, наиболее подходящий по всем параметрам, в том числе и экономическим. В проекте представлены сметы на материалы, требующиеся для оборудования лаборатории, и сметы на стоимость электромонтажных работ.

Лаборатория предназначена для работы студентов и позволит в будущем обеспечить более продуктивную работу на занятиях, так как стенды, установленные в лаборатории, позволяют наглядно понять и увидеть в реальности устройство приборов и проводить эксперименты с ними.

Так как электротехническая лаборатория является помещением с повышенной опасностью получения травмы была предусмотрена организация уголка электробезопасности, где будут расположены правила

техники безопасности при работе с электрооборудованием и памятка об оказании первой помощи человеку, получившему удар электрическим током.

Цель выпускной квалификационной работы можно считать выполненной, так как разработана главная схема электроснабжения лаборатории релейной защиты и автоматики, с указанием всех необходимых параметров, а именно на плане указаны места расположения всех лабораторных стендов; показано как необходимо прокладывать все кабели. На принципиальных схемах, в свою очередь, указаны марки и номиналы использованных автоматов, кабелей; показано как необходимо подключать кабели ко всем элементам схемы. Таким образом, у квалифицированного персонала не возникнет никаких проблем при монтаже данной лаборатории.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. "Российский институт потребительских испытаний" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ripi-test.ru/1731-tehnicheskij-reglament-o-bezopasnosti-nizkovoltnogo-oborudovaniya> (дата обращения: 22.05.2018).
2. Акимова Н.А., Котеленец Н.Ф., Сентюрихин Н.И. Монтаж техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования. – Москва: «Академия», 2008. – 304 с.
3. Безопасность труда в строительстве (СниП 12032001). Часть 1. Общие требования; Мир - Москва, 2013. - 261 с.
4. Булычев, А. В. Релейная защита электроэнергетических систем: учебное пособие / А. В. Булычев, В. К. Ванин, А. А. Наволочный, М. Г. Попов. — Санкт-Петербург.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — 211 с.
5. ГОСТ Р 50571.15-97 (МЭК 364-5-52-93). Электрические установки зданий. Часть 5 - Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52 - Электропроводки.
6. Группа компаний «ГалСен»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://galsen.ru> (Дата обращения: 27.05.2018).
7. Информационная торговая система «ЭлектроТехИнфо»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.eti.su> (Дата обращения: 27.05.2018).
8. Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование: Учебное пособие / Г.В. Коробов, В.В. Картавцев, Н.А. Черемисинова. – Санкт-Петербург: Лань, 2011. - 192 с.
9. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Б.И. Кудрин. - Москва: ИЦ Академия, 2012. - 352 с.

10. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ -016-2001 РД 153-34.0-03.150-00) [Текст]: справочник – Москва: Омега-Л, 2016. – 92с.
11. Миллер Г. Р. Автоматизация в системах электроснабжения промышленных предприятий / Г.Р. Миллер. - Москва: Государственное энергетическое издательство, 2012. - 176 с.
12. Министерство труда и социальной защиты РФ. Приказ от 24 июля 2013 г. N 328н «Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации электроустановок».
13. МПО «Электромонтаж» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electro-mpo.ru/> (дата обращения: 05.05.2018).
14. Неклепаева Б.Н. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Б.Н. Неклепаева. - Москва: НЦ НАС, 2002. – 152 с.
15. Полуянович Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий / Н.К. Полуянович. - Москва: Лань, 2012. - 400 с.
16. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Текст]: справочник – Утверждены Приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 13.01.2003 N 6. – 183с.
17. Правила устройства электроустановок. - Москва: Госторгиздат, 2015. - 144 с.
18. Правила учета электрической энергии. - Москва: АОЗТ «Энергосервис», 2012. - 367 с.
19. Правила. Методики. Инструкции. Выпуск 18. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - Москва: Энергосервис, 2016. - 308 с.
20. Проектирование инженерных сетей «Мега» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://m-e-g-a.ru> (дата обращения: 15.05.2018).

21. РД 153-34.0-04.418-98 Типовое положение о службах релейной защиты и электроавтоматики.
22. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2013. - 328 с.
23. СНиП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение
24. Строительная техника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stroy-technics.ru> (дата обращения: 04.05.2018).
25. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. — Санкт - Петербург: ПЭИПК, 2008.
26. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. - Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2011. - 214 с.
27. Школа для электрика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.inf> (дата обращения: 20.05.2018).
28. Электрика своими руками [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ehto.ru/> (дата обращения: 10.05.2018).
29. Энергетика, оборудование, документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://forca.ru/spravka/kabeli.html> (дата обращения: 05.05.2018).