

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Пономарева Светлана Викторовна
Должность: Проректор по УР и НО
Дата подписания: 29.09.2025 13:23:52
Уникальный программный ключ:
bb52f959411e64617366ef2977b97e87139b1a2d



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ДГТУ)**

УТВЕРЖДАЮ

Директор Aviационно-
технологического колледжа

В.А.Зибров

« ____ » _____ 2022 г.

Методические рекомендации

по выполнению практических работ

по дисциплине МДК.01.03

Основы технической эксплуатации

и обслуживания электрического и электромеханического оборудования

по специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание

электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)

Ростов-на-Дону

2022г

Разработчик:

Преподаватель АТК ДГТУ _____ Раковец В.В.

«__» _____ 2022г

Методические рекомендации по выполнению практических работ рассмотрены и одобрены на заседании цикловой комиссии «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)»

Протокол № 1 от «31» августа 2022г

Председатель цикловой комиссии _____ Захаренко Н.И.

«__» _____ 2022г

Методические рекомендации по выполнению практических работ предназначены для обучающихся специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)

Одобрены на заседании педагогического совета Авиацонно-технологического колледжа, протокол № 1 от 31.08.2022 г.

Председатель педагогического совета _____ В.А.Зибров

Методические указания содержат задания к практическим работам, порядок их выполнения, рекомендации, перечень контрольных вопросов по каждой работе, требования к знаниям и умениям. Приведен список оборудования, основной литературы и нормативных документов, рекомендуемых для подготовки к практическим работам.

Методические указания предназначены для студентов специальности 13.02.11. Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

Лабораторная работа № 1 «Светотехнический расчет производственного участка по нагрузке»

Лабораторная работа № 2 «Светотехнический расчет вспомогательных бытовых и служебных помещений»

Лабораторная работа № 3 «Светотехнический расчет по потере напряжения»

Лабораторная работа № 4 «Расчет электрических нагрузок первого распределительного шинпровода»

Лабораторная работа № 5 «Расчет электрических нагрузок остальных шинпроводов»

Лабораторная работа № 6 «Расчет и выбор аппаратов защиты и проводниковых материалов»

Лабораторная работа №7 «Расчет и выбор компенсирующего устройства»

Лабораторная работа №8. «Расчет и выбор линии ВН»

Лабораторная работа №9, 10, 11. «Расчет токов КЗ»

Лабораторная работа №12. «Выбор высоковольтного выключателя»

Лабораторная работа №13. «Расчет релейной защиты трансформатора»

Лабораторная работа №14. «Расчет заземляющего устройства»

Литература

Введение

Практические работы направлены на экспериментальное подтверждение и проверку существенных теоретических положений (законов, зависимостей и закономерностей) необходимых при освоении учебной дисциплины.

В процессе практического занятия обучающиеся выполняют одну практическую работу под руководством преподавателя в соответствии с изучаемым содержанием учебного материала.

Содержанием практических работ является выполнение различных практических приемов, в том числе профессиональных, работа с электрическим оборудованием, документацией.

Состав заданий для практического занятия спланирован с расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть выполнены качественно большинством обучающихся.

Выполнению практических работ предшествует проверка знаний студентов – их теоретической готовности к выполнению задания.

Формы организации работы обучающихся на практических работах, как правило, фронтальная или индивидуальная.

При фронтальной форме организации работ все обучающиеся выполняют одновременно одну и ту же работу.

При индивидуальной форме организации занятий каждый обучающийся выполняет индивидуальное задание.

Выполнение практических работ по дисциплине МДК.01.03 Основы технической эксплуатации и обслуживания электрического и электромеханического оборудования направлено на формирование общих компетенций:

- ОК 1 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам
- ОК 2 Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности
- ОК 3 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие
- ОК 4 Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами
- ОК 5 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста
- ОК 6 Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей
- ОК 7 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях
- ОК 8 Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности
- ОК 9 Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности
- ОК 10 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках
- ОК 11 Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере

Выполнение практических работ по МДК.01.03 Основы технической эксплуатации и обслуживания электрического и электромеханического оборудования направлено на формирование профессиональных компетенций:

- ПК 1.1. Выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования.
- ПК 1.2. Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования.
- ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования.
- ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

Практическая работа № 1

«СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА ПО НАГРУЗКЕ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – научиться производить светотехнический расчет производственного участка по нагрузке.

Для выполнения работы необходимо **знать**:

– методику проведения светотехнического расчета производственного участка по нагрузке

Для выполнения работы необходимо **уметь**:

– находить и использовать необходимую техническую информацию;

– производить светотехнический расчет производственного участка по нагрузке.

Выполнение данной практической работы способствует формированию профессиональных компетенций: ПК 1.1. Выполнить наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.2. Организовать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ: 90 минут

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Расчёт электрических нагрузок силовых электроприёмников на втором уровне выполняется по отдельным узлам цеховых сетей – распределительным пунктам (РП).

Расчёт производится методом упорядоченных диаграмм. Все силовые электроприёмники (ЭП) каждого узла разбиваются на группы в соответствии с их режимом работы и коэффициентом использования:

· группа А – ЭП длительного режима работы с переменным графиком нагрузки (станки, прессы) и электроприёмники повторно-кратковременного режима работы (краны, тельферы);

· группа Б – ЭП длительного режима работы с постоянным графиком нагрузки (вентиляторы, компрессоры, крупные станки).

Пример расчёта электрических нагрузок приводится для узла РП-3.

Группа А:

- фуговальный станок $P_n=1\text{кВт}$; $K_i = 0,2$; $\cos\varphi = 0,55$;

- циркулярная пила количество $n=2$, $P_n=0,7\text{кВт}$; $K_i = 0,3$; $\cos\varphi = 0,5$;

- сверлильный станок $P_n=1\text{кВт}$; $K_i = 0,14$; $\cos\varphi = 0,7$;

- станок для сращивания $P_n=2\text{ кВт}$; $K_i = 0,5$; $\cos\varphi = 0,8$;

Итого по группе А:

$$P_{n\Sigma} = 1+2\cdot 0,7+1+2=5,4\text{кВт}.$$

Группа Б:

- циркулярная пила $P_n=1,5\text{кВт}$; $K_i = 0,7$; $\cos\varphi = 0,5$;

- 4-сторонний строгальный станок $P_n=37,6\text{кВт}$; $K_i = 0,8$; $\cos\varphi = 0,5$;

Итого по группе Б: $P_{n\Sigma} = 1,5+37,6=39,1\text{ кВт}$.

Итого по узлу:

$$P_{n\Sigma} = 5,4+39,1 = 44,5\text{ кВт}.$$

Активная мощность за наиболее загруженную смену, кВт,

$$P_{см\Sigma} = \Sigma K_i \cdot P_n,$$

• для группы А:

$$P_{см\Sigma} = 0,2\cdot 1+0,3\cdot 2\cdot 0,7+0,14\cdot 1+0,5\cdot 2=1,76;$$

• для группы Б:

$$P_{см\Sigma} = 0,7\cdot 1,5+0,8\cdot 37,6=31,13.$$

Реактивная мощность за наиболее загруженную смену, квар,

$$Q_{см\Sigma} = \Sigma P_{смi} \cdot \operatorname{tg}\varphi_i,$$

где $\operatorname{tg}\varphi_i$ – коэффициент реактивной мощности, о.е.,

$$\operatorname{tg}\varphi_i = \operatorname{tg}(\arccos\varphi_i);$$

• для группы А:

$$Q_{\Sigma} = 0,200 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,55) + 2 \cdot 0,210 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,5) + 0,140 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,7) + 1,0 \cdot$$

$$\operatorname{tg}(\arccos 0,8) = 1,924;$$

• для группы Б:

$$Q_{\Sigma} = 1,050 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,5) + 30,080 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,5) = 67,723.$$

Средневзвешенный коэффициент использования, о.е.,

$$K_{и\text{св}} = \frac{P_{\Sigma}}{P_{н\text{н}}},$$

для группы А:

$$K_{и\text{св}} = 1,760 / 5,400 = 0,326.$$

Эффективное число ЭП для группы А,

$$n_{\text{э}} = \frac{P_{н\text{н}}^2}{\Sigma P_{н\text{н}}^2};$$

$$n_{\text{э}} = \frac{5,4^2}{(1^2 + 2 \cdot 0,7^2 + 1^2 + 2^2)} = 4,1.$$

Принимается $n_{\text{э}} = 4$.

Коэффициент максимума по активной мощности при $n_{\text{э}} = 4$ и $K_{и\text{св}} = 0,326$ по таблице или рисунку /2/, о.е.,

$$K_{ма} = 2,2.$$

Коэффициент максимума по реактивной мощности при $n_{\text{э}} = 4$, о.е.,

$$K_{мр} = 1,1.$$

Коэффициент максимума по активной и реактивной мощности для группы Б, о.е.,

$$K_{ма} = K_{мр} = 1.$$

Расчётные активная и реактивная мощности, кВт, квар,

$$P_p = K_{ма} \cdot P_{\Sigma};$$

$$Q_p = K_{мр} \cdot Q_{\Sigma};$$

• для группы А:

$$P_p = 2,2 \cdot 1,760 = 3,872;$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 1,924 = 2,116;$$

• для группы Б:

при количестве приемников в группе менее 3

$$P_p = \Sigma P_{н\text{н}};$$

$$P_p = 1,5 + 37,6 = 39,1;$$

$$Q_p = \Sigma P_{н\text{н}} \cdot \operatorname{tg}\varphi;$$

$$Q_p = 1,5 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,5) + 37,6 \cdot \operatorname{tg}(\arccos 0,5) = 67,723.$$

Итого по узлу:

$$P_p = 3,872 + 39,100 = 42,972;$$

$$Q_p = 2,116 + 67,723 = 69,840.$$

Полная расчётная мощность узла, кВА,

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2},$$

$$S_p = \sqrt{42,972^2 + 69,840^2} = 82,001.$$

Расчётный ток узла, А,

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{н}},$$

$$I_p = \frac{82,001}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 124,588.$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Задача 1

Произвести светотехнический расчет производственного участка по нагрузке

Исходные данные:

Группа А:

- фуговальный станок $P_n=1\text{кВт}$; $K_{и} = 0,2$; $\cos\varphi = 0,55$;
- циркулярная пила количество $n=2$, $P_n=0,7\text{кВт}$; $K_{и} = 0,3$; $\cos\varphi = 0,5$;
- сверлильный станок $P_n=1\text{кВт}$; $K_{и} = 0,14$; $\cos\varphi = 0,7$;
- станок для срачивания $P_n=2\text{ кВт}$; $K_{и} = 0,5$; $\cos\varphi = 0,8$;

Итого по группе А:

$$P_{n\Sigma} = 1+2\cdot 0,7+1+2=5,4\text{кВт.}$$

Группа Б:

- циркулярная пила $P_n=1,5\text{кВт}$; $K_{и} = 0,7$; $\cos\varphi = 0,5$;
- 4-сторонний строгальный станок $P_n=37,6\text{кВт}$; $K_{и} = 0,8$; $\cos\varphi = 0,5$;

Итого по группе Б: $P_{n\Sigma} = 1,5+37,6=39,1\text{ кВт.}$

Итого по узлу:

$$P_{n\Sigma} = 5,4+39,1 = 44,5\text{ кВт.}$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Силовой электроприемник: назначение, устройство, принцип действия
2. Какие электроприемники входят в группу А?
3. Какие электроприемники входят в группу Б?
4. Какие показатели необходимо определить, выполняя светотехнический расчет производственного участка по нагрузке?

Практическая работа № 2 «СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ, БЫТОВЫХ И СЛУЖЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – научиться производить светотехнический расчет вспомогательных бытовых и служебных помещений.

Для выполнения работы необходимо **знать**:

– методику проведения светотехнического расчета вспомогательных, бытовых и служебных помещений

Для выполнения работы необходимо **уметь**:

– находить и использовать необходимую техническую информацию;
– производить светотехнический расчет вспомогательных бытовых и служебных помещений.

Выполнение данной практической работы способствует формированию профессиональных компетенций: ПК 1.1. Выполнить наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.2. Организовать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ: 90 минут

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

По нормированной освещенности рассчитываем и выбираем тип и количество светильников для освещения вспомогательных, бытовых и служебных помещений.

Так, для комнаты мастеров, где освещённость на рабочей поверхности (столе) должна быть 300 Лк, выбираем светильники типа ПВЛМ с четырьмя люминесцентными лампами ЛБ-40. Площадь помещения $S = 20 \text{ м}^2$, высота – 3 м. Светильники устанавливаем непосредственно на потолке, поэтому высота подвеса светильников над рабочей поверхностью стола будет:

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

Тогда, удельная мощность освещенности будет:

$$W = 3 \times 5,8 = 17,4 \text{ Вт/м}$$

Общая мощность ламп в помещении

$$P = 17,4 \times 20 = 348 \text{ Вт}$$

Общее расчётное количество ламп

$$N_{ce} = \frac{348}{40} = 9 \text{ шт.}$$

Общее расчетное количество светильников

$$N_{ce} = \frac{9}{3} = 3 \text{ шт.}$$

Мощность освещения

$$P = 3 \times 3 \times 40 = 360 \text{ Вт}$$

Определяем ток в линии освещения

$$I = \frac{P}{U \times \cos \varphi}$$
$$I = \frac{360}{220 \times 0,8} = 2 \text{ А}$$

По допустимой токовой нагрузке для питания линии освещения выбираем провод ПРП(2×1). В помещении устанавливаем выключатель и штепсельную розетку открытой установки.

Для туалетов, где освещенность на рабочей поверхности (столе) должна быть 150 Лк выбираем светильники типа ПВЛМ с одной люминесцентной лампой ЛБ-40. Площадь помещения $S = 10 \text{ м}^2$, высота – 3 м. Светильники устанавливаем непосредственно на потолке, поэтому высота подвеса светильников над рабочей поверхностью стола будет:

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

Тогда, удельная мощность освещенности будет:

$$W = 9,8 * 15 = 14,7 \text{ Вт/м}^2$$

Общая мощность ламп в помещении

$$P = 14,7 * 10 = 147 \text{ Вт}$$

Общее расчетное количество ламп

$$N_{св} = \frac{147}{40} = 3,6 \approx 4 \text{ шт.}$$

Общее расчетное количество светильников

$$N_{св} = \frac{4}{2} = 2 \text{ шт.}$$

Мощность освещения

$$P = 2 * 2 * 40 = 160 \text{ Вт}$$

Определяем ток в линии освещения

$$I = P / (U \cdot \cos \varphi)$$

$$I = 160 / (220 \cdot 0,8) = 0,9 \text{ А}$$

По допустимой токовой нагрузке для питания линии освещения выбираем провод ПРП 2х1. В помещении устанавливаем выключатель.

Для раздевалок, где освещенность на рабочей поверхности (столе) должна быть 150 Лк выбираем светильники типа ЛВПО с двумя люминесцентными лампами ЛБ-40. Площадь помещения $S = 15 \text{ м}^2$, высота – 3 м. Светильники устанавливаем непосредственно на потолке, поэтому высота подвеса светильников над рабочей поверхностью стола будет:

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

Тогда, удельная мощность освещенности будет:

$$W = 7,8 * 1,5 = 11,7 \text{ Вт/м}^2$$

Общая мощность ламп в помещении

$$P = 11,7 * 15 = 175,5 \text{ Вт}$$

Общее расчетное количество ламп

$$N_{св} = \frac{175,5}{40} = 4 \text{ шт.}$$

Тогда количество светильников

$$N_{св} = \frac{4}{2} = 2 \text{ шт.}$$

Мощность освещения

$$P = 2 * 2 * 40 = 160 \text{ Вт}$$

Определяем ток в линии освещения

$$I = P / (U \cdot \cos \varphi)$$

$$I = 160 / (220 \cdot 0,8) = 0,9 \text{ А}$$

По допустимой токовой нагрузке для питания линии освещения выбираем провод ПРП 2х1. В помещении устанавливаем выключатель и штепсельную розетку открытой установки.

Для склада готовой продукции, где освещенность на рабочей поверхности (столе) должна быть 250 Лк выбираем светильники типа РСПО07 с лампами ДРЛ. Площадь помещения $S = 270 \text{ м}^2$, высота – 12 м. Светильники устанавливаем непосредственно на потолке, поэтому высота подвеса светильников будет:

$$h = 12 - 0,8 = 11,2 \text{ м}$$

Тогда, удельная мощность освещенности будет:

$$W = 10,1 * 2,5 = 25,3 \text{ Вт/м}^2$$

Общая мощность ламп в помещении

$$P = 25,3 * 270 = 6831 \text{ Вт}$$

Общее расчетное количество ламп

$$N_{св} = \frac{6831}{400} = 18 \text{ шт.}$$

Тогда количество светильников

$$N_{св} = \frac{18}{2} = 9 \text{ шт.}$$

Мощность освещения

$$P = 9 \cdot 400 = 3600 \text{ Вт}$$

Определяем ток в линии освещения

$$I = P / (U \cdot \cos \varphi) \\ I = 3600 / (220 \cdot 0,8) = 20 \text{ А}$$

По допустимой токовой нагрузке для питания линии освещения выбираем провод ПРП 2х2,5. В помещении устанавливаем выключатель.

Для инструментального склада, где освещенность на рабочей поверхности (столе) должна быть 250 Лк выбираем светильники типа ПВЛМ с тремя люминесцентными лампами ЛБ-40. Площадь помещения $S = 50 \text{ м}^2$, высота – 3 м. Светильники устанавливаем непосредственно на потолке, поэтому высота подвеса светильников над рабочей поверхностью стола будет:

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

Тогда, удельная мощность освещенности будет:

$$W = 2,5 \cdot 4,4 = 11 \text{ Вт/м}^2$$

Общая мощность ламп в помещении

$$P = 11 \cdot 50 = 550 \text{ Вт}$$

Общее расчетное количество ламп

$$N_{\text{св}} = \frac{550}{40} = 12 \text{ шт.}$$

Тогда количество светильников

$$N_{\text{св}} = \frac{12}{4} = 3 \text{ шт.}$$

Мощность освещения

$$P = 4 \cdot 40 \cdot 3 = 480 \text{ Вт}$$

Определяем ток в линии освещения

$$I = P / (U \cdot \cos \varphi) \\ I = 480 / (220 \cdot 0,8) = 2,7 \text{ А}$$

По допустимой токовой нагрузке для питания линии освещения выбираем провод ПРП 2х1. В помещении устанавливаем выключатель.

Для КТП, где освещенность на рабочей поверхности (столе) должна быть 250 Лк выбираем светильники типа ПВЛМ с тремя люминесцентными лампами ЛБ-40. Площадь помещения $S = 81 \text{ м}^2$, высота – 3 м. Светильники устанавливаем непосредственно на потолке, поэтому высота подвеса светильников над рабочей поверхностью стола будет:

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

Тогда, удельная мощность освещенности будет:

$$W = 2,5 \cdot 4,5 = 11 \text{ Вт/м}^2$$

Общая мощность ламп в помещении

$$P = 11 \cdot 81 = 891 \text{ Вт}$$

Общее расчетное количество ламп

$$N_{\text{св}} = \frac{891}{40} = 24 \text{ шт.}$$

Тогда количество светильников

$$N_{\text{св}} = \frac{24}{4} = 6 \text{ шт.}$$

Мощность освещения

$$P = 4 \cdot 6 \cdot 40 = 960 \text{ Вт}$$

Определяем ток в линии освещения

$$I = P / (U \cdot \cos \varphi) \\ I = 960 / (220 \cdot 0,8) = 5,41 \text{ А}$$

По допустимой токовой нагрузке для питания линии освещения выбираем провод ПРП 2х1. В помещении устанавливаем выключатель.

В качестве аппарата защиты осветительной проводки в служебных и бытовых помещениях выбираем щиток ОЩВ-6 с линейным автоматом ВА 51-25 с номинальным током не больше 20 (А).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Задача 1

Произвести светотехнический расчет вспомогательных, бытовых и служебных помещений

Исходные данные:

1) Для комнаты мастеров, где освещённость на рабочей поверхности (столе) должна быть 300 Лк, выбираем светильники типа ПВЛМ с четырьмя люминесцентными лампами ЛБ-40. Площадь помещения $S = 20 \text{ м}^2$, высота – 3 м.

2) Для туалетов, где освещённость на рабочей поверхности (столе) должна быть 150 Лк выбираем светильники типа ПВЛМ с одной люминесцентной лампой ЛБ-40. Площадь помещения $S = 10 \text{ м}^2$, высота – 3 м.

3) Для раздевалок, где освещённость на рабочей поверхности (столе) должна быть 150 Лк выбираем светильники типа ЛВПО с двумя люминесцентными лампами ЛБ-40. Площадь помещения $S = 15 \text{ м}^2$, высота – 3 м.

4) Для склада готовой продукции, где освещённость на рабочей поверхности (столе) должна быть 250 Лк выбираем светильники типа РСПО07 с лампами ДРЛ. Площадь помещения $S = 270 \text{ м}^2$, высота – 12 м.

5) Для инструментального склада, где освещённость на рабочей поверхности (столе) должна быть 250 Лк выбираем светильники типа ПВЛМ с тремя люминесцентными лампами ЛБ-40. Площадь помещения $S = 50 \text{ м}^2$, высота – 3 м.

6) Для КТП, где освещённость на рабочей поверхности (столе) должна быть 250 Лк выбираем светильники типа ПВЛМ с тремя люминесцентными лампами ЛБ-40. Площадь помещения $S = 81 \text{ м}^2$, высота – 3 м.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нормированная освещённость (определение)
2. Допустимая токовая нагрузка (сущность понятия)
3. Мощность освещения (сущность понятия)
4. От каких параметров зависит высота подвеса светильника?
5. Принципы выбора провода ПРП

Практическая работа № 3 «СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПО ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – научиться производить светотехнический расчет по потере напряжения.

Для выполнения работы необходимо **знать:**
методику выполнения светотехнического расчета по потере напряжения

Для выполнения работы необходимо **уметь:**
– находить и использовать необходимую техническую информацию;
– производить светотехнический расчет по потере напряжения.

Выполнение данной практической работы способствует формированию профессиональных компетенций: ПК 1.1. Выполнить наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.2. Организовать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ: 90 минут

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Каждый светотехнический проект предполагает массу базовых расчётов. Первый, и самый главный из них – осветительный. Ведь согласитесь, без света не смогут работать ни сами проектанты, ни строители с электромонтёрами.

При планировании линий освещения нужно отталкиваться от прогнозированного потребления (от создаваемой осветительными приборами нагрузкой). Отталкиваясь от этих параметров, производится выбор сечения силовых кабелей и проводов, номинального тока защитно-коммутационного аппарата и т.п.

Поскольку по пути к потребителю материал проводников создаёт сопротивление электротоку — из-за этого происходят потери напряжения. Особенно это заметно когда к одной линии (того же освещения, например) подключено много потребителей, со множеством распределительных и групповых сетей.

В итоге получается, что напряжение на входе и на выходе каждого отдельного участка заметно отличается, и наиболее удалённые по линии потребители получают намного более заниженные параметры напряжения, чем заявлено. И при этом распределение происходит не равномерно, что отрицательно сказывается на работе всех задействованных электроприборов.

Всё потому, что проводники, продолжительное время работающие под нагрузкой, гораздо превышающей расчётную, начинают функционировать в режиме постоянных перегрузок. Вследствие чего возникает перегрев, а это может спровоцировать замыкание или пожар на линии. И всё из-за недочётов проектантов, которые не удосужились подобрать под номинальные токи автоматического выключателя соответствующее сечение проводников.

Поэтому при разработке проекта всегда нужно помнить, что номинальный ток никогда не должен превышать предельно допустимых значений токов проводников. Иначе защитная функция автоматического выключателя, оберегающего проводники от перегрузок, будет просто неактивной.

В отечественных сетях процент потерь очень высокий – иногда он достигает до 10-22 % (в то время, когда в мировой практике эти цифры гораздо ниже, и составляют 4-6%). И в результате перерасход, создаваемый при потере, бременем ложится на плечи конечных потребителей.

Укажем основные причины, почему необходимо делать предварительный расчет мощности (напряжения) для будущей линии освещения: Во-первых – на основании полученной суммарной мощности потребления определяются оптимальные токи с допустимой нагрузкой на все освещения элементы в цепи.

Во-вторых – исходя из степени нагрева проводников под воздействием рассчитанных, предельно допустимых токов, выбирается оптимальное сечение силовых кабелей и проводов для освещения.

В-третьих – отталкиваясь от полученного значения сечения силовых кабелей (проводов) и от выдерживаемой ими длительной максимальной нагрузки выполняется подбор подходящей защитной аппаратуры автоматического отключения.

В-четвёртых — любые расчёты просто необходимы для получения разрешений и техусловий от местных электrorаспределительных организаций. На их основании техкомиссией будет приниматься решение о подключении объекта к линии, соответствующей по мощности и с допустимой нагрузкой.

Несмотря на кажущуюся незначительность (либо недостаточную точность) подобных усреднённых расчётов, они — это необходимое условие дальнейшей безопасной эксплуатации линии, т.к. изначально будут подобраны оптимальные элементы. В результате такие линии будут максимально равномерно распределять токи между всеми потребителями. Попутно будут уменьшаться потери напряжения от нерационально распределенной нагрузки.

Стоит отметить, что в линиях с равномерно распределенной нагрузкой (тех же уличных светильниках, например) потери будут гораздо меньшими, чем в линиях, распределённых не равномерно. В данном случае, вкуче с дополнительной индуктивной нагрузкой, потери могут оказаться вдвое большими. Поэтому приведённый расчет может дать погрешность.

Первым делом при проектировании необходимо выяснить, какой нагрузкой на сети будет обладать будущий объект. Для этого сначала необходимо выполнить расчет суммарной мощности всех осветительных приборов, которые будут запитываться на конкретном участке линии. Имея эти данные можно определить расчётные нагрузки (P_n) освещения питающей сети, а также вводов в жилые (либо производственные) постройки.

Перед этим нужно определить мощности всех ламп в сети. Расчет производится по следующей формуле:

$$Mл. = Mс. * Kл.$$

В данном расчёте $Mс.$ – это мощность ламп, Вт, а $Kл.$ – количество ламп, шт.

Полученный по предыдущей формуле результат в дальнейшем используется для определения нагрузок запитывающей осветительной линии.

Расчет выполняется по формуле:

$$P_n = Mл. * K_{спр.} * K_{п.}$$

где, $Mл.$ – это установленная расчётная мощность всех ламп;

$K_{спр.}$ – коэффициент спроса, отображающий, как часто используется осветительное электрооборудование.

Он служит в качестве поправки, обязательно вносимой в расчёты, т.к. на практике маловероятно, что все электроприборы будут включены одновременно и на полную мощность.

Данный коэффициент можно определять эмпирическим путём — для каждого отдельного объекта, или принимать подходящее значение из таблицы, приведённой ниже:

Таблица - Коэффициент расчета

При отсутствии данных обследований $k_{сп}$ следует принимать равным:	
1	для мелких производственных зданий и торговых помещений, наружного освещения,
0,95	для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов,
0,9	для библиотек, административных зданий и предприятий общественного питания,
0,8	для производственных зданий, состоящих из большого числа отдельных помещений;
0,6	для складских зданий и электростанций, состоящих из большого числа отдельных помещений.

Оптимальный вариант принимать значение $K_{спр.}$ за 0,95. $K_{п.}$ – коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре ламп. (Для ртутных газоразрядных ламп он составляет 1,1, для люминесцентных – 1,2)

В случаях, когда от будущих линий планируется осуществлять смешанную запитку объекта – и для освещения, и для силовых нагрузок (тех же розеток, например) – тогда оба вида нагрузок нужно суммировать. Расчет для смешанных нагрузок выглядит так:

$$N_{общ.} = N_о + N_с$$

где, $N_{общ.}$ – расчётная общая нагрузка, в кВт; $N_о$ – расчётная нагрузка осветительных линий, в кВт;

$N_с$ – нагрузка силовая, расчётная в кВт.

Чтобы определить предельно допустимые сечения проводов, которые будут использоваться в линиях, нужно рассчитать, какие токи будут по ним проходить. Так для однофазных линий, состоящих из двух проводов, расчет производится по формуле:

$$I = P \cdot 10^3 / (U_{\phi} \cos \varphi)$$

Для двухфазных линий, состоящих из трёх проводов (двух фаз и нуля) решение будет выглядеть так:

$$I = P \cdot 10^3 / (2U_{\phi} \cos \varphi)$$

В случае прокладки трёхфазных линий, состоящих из четырёх проводов (трёх фаз и нуля) сечение определяется путём такого расчёта:

$$I = P \cdot 10^3 / (\sqrt{3}U_{\Delta} \cos \varphi) \quad (6)$$

Где, P - расчётная активная нагрузка, в кВт;

U_{Δ} – линейное напряжение (межфазное), в В;

U_{ϕ} – напряжение фазное, в В;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности нагрузки. Его принимают за единицу для сетей, оборудуемых обычными лампочками накаливания. В случае с люминесцентными лампами – 0,95 (при условии компенсации реактивной мощности) или 0,57 (когда в схеме не предусмотрено конденсаторов).

Как уже упоминалось, в любых линиях потерь не избежать – это распространённое и можно сказать нормальное явление. Мало того, то они происходят при транспортировке энергии от поставщика до нужного участка, так ещё и на точках её распределения между несколькими потребителями они нарастают.

Наша задача заключается в том, чтобы подобрать оптимальное сечение проводов, чтобы как можно больше снизить процент потерь распределенной энергии — до нормируемых ПУЭ интервалов: от 2,5 до 5 %. Также желательно сделать так, чтобы нагрузки на сети распределялись равномерно.

Базовый расчет потерь производится так:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0) \cdot l}{U_{\text{ном}}}$$

где ΔU — потеря напряжения, P — активная мощность, кВт, Q — реактивная мощность, квар, r_0 — активное сопротивление линии, Ом/км, x_0 — индуктивное сопротивление линии, Ом/км, l — длина линии, км, $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение, кВ.

Значение активного сопротивления (r_0) можно рассчитать по формуле (она справедлива для алюминиевого или стального провода):

$$r_0 = \frac{32}{F}$$

где F — поперечное сечение алюминиевого провода или сечение алюминиевой части провода АС, мм² (проводимость стальной части провода АС не учитывают).

При планировании линий, протяжённостью в несколько километров, обязательно должно учитываться индуктивное сопротивление проводов (ИСП), непосредственно влияющее на потери напряжения в сетях. Так как при настолько больших дистанциях, энергия просто не может распределяться равномерно и без потерь.

По опыту работ — можно брать ИСП(в нашем расчёте помеченное как x_0)алюминиевых (либо медных) проводов, сечением более чем 95 мм², в размере 0,32 Ом на 1 километр. Это значение будет корректным в том случае, когда расстояние между проводами относительно небольшое (до 6,0 см). Для проводов сечением 10-25 мм² используется коэффициент индуктивно-

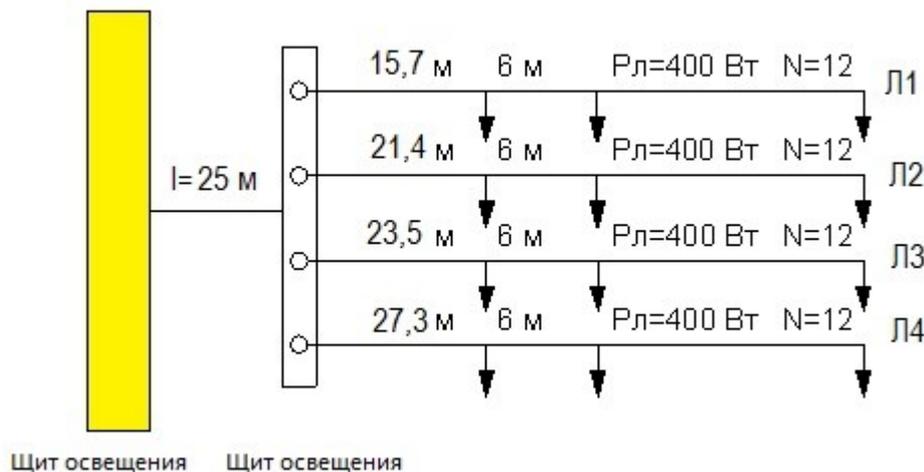
го сопротивления, равный 0,44 Ом/км. В этом случае допускается более внушительное расстояние между проводами – 10,0 см.

Как показывает практика, в низковольтных линиях, используемых преимущественно для освещения, достаточно сложно добиться равномерно распределенной нагрузки. Поэтому в данном случае лучше использовать четыре жилы проводов (т.е. монтировать трёхфазную линию). И тогда, перераспределяя нагрузки от освещения на фазные и нулевые провода, и силовые — на линейные, удаётся более равномерно разделить нагрузки между всеми фазами.

Для трёхфазных линий расчет потерь, происходящих в каждом проводе, будет выполняться по представленному ниже алгоритму, в котором первый блок — характеризует активные потери напряжения, а второй блок – реактивные.

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l}{U_H} + \frac{Q \cdot x_0 \cdot l}{U_H}$$

Для примера просчитаем линию освещения для гипотетического объекта. Заданные параметры приведены на схеме.



Параметры расчета

В нашем случае установлены однотипные светильники (N=12 шт.), мощностью 400 Вт, через одинаковые интервалы (Инт.=6м). Рассчитаем расстояние (P) до центра приложения нагрузок для каждой сети[^]

$$P = P_1 + ((\text{Инт.} \cdot (N - 1) / 2),$$

где P1 – это расстояние от щитка до первой лампочки в сети.

Подставляем значения для проведения расчётов: P1=15,7+(6+((12-1)/2))=48,7метров
 P2=21,4+(6+((12-1)/2))=54,4 метров P3=23,5+(6+((12-1)/2))=56,5 метров P4 = 27,3 + (6 + ((12-1)/2)) = 60,3 метров

Определим расчётные нагрузки, описанные во втором разделе (формулы 1 и 2):

$$P_H = M_{л.} \cdot K_{спр.} \cdot K_{п.}$$

Поскольку группы электроприборов у нас однотипные, значение будет одинаковым для всех линий:

$$P_H = (12 \text{шт} \cdot 0,4 \text{ кВт}) \cdot 1,1 \cdot 1 = 5,28 \text{ кВт}$$

$$\text{И тогда мощность питающей сети составит: } 5,28 \cdot 0,95 \cdot 4 = 20,1 \text{ кВт}$$

Теперь можно определить моменты нагрузки (МН) для каждой сети, рассчитываются они так :

$$M_H = P_H \cdot P,$$

где P_H – расчётные нагрузки, P – расстояние.

$MН1=5,28*48,7=257,1\text{кВт/м}$ $MН2=5,28*54,4=287,2\text{ кВт/м}$ $MН3=5,28*56,5=298,3\text{ кВт/м}$ $MН4 = 5,28*60,3=318,4\text{ кВт}$

Момент нагрузок для питающей сети (расстояние до щитка $l=25\text{ м}$):

$$MНс = 20,1 * 25 = 502,5\text{ кВт/м}$$

Итого сборный (или приведённый) момент нагрузки ($MНс$) по всем линиям равен:

$$MНс = 502,5+257,1+287,2+298,3+318,4 = 1663,5\text{ кВт/м.}$$

Определим теперь, какие будут потери напряжения для наших линий:

$$Pн = Nн - Nмд - PНс,$$

где, $Nн$ — номинальное напряжение, создаваемое при холостой работе трансформатора(принимается на 105%).

$Nмд$ — минимально допустимое напряжение самых удаленных по сети лампочек(берём 95%);
 $PНс$ — потери напряжения суммарные — до рассматриваемой сети, %(принимается 3,56% и 3,64%).

$$\text{Итак } Pн = 105 - 95 - (3,56 - 3,64) = 2,8\%$$

Рассчитаем, наконец, сечение подходящего для наших линий провода:

$$Sп = MНс / (K * Pн)$$

$$Sп = 1663,5 / (44 * 2,8) = 13,5\text{ мм}^2$$

Находим, какие токи будут проходить по нашим сетям:

$$I = P \cdot 10^3 / (\sqrt{3} U_n \cos \varphi) \text{ где } U_n \text{ — номинальное напряжение сети}$$

$$I = (20,1 * 103) / (3 * 220 * 0,6) = 50,76\text{ А}$$

Определяем процент потерь напряжения для каждой сети:

$$P1 = 257,1 / (3 * 44) = 1,95\%$$

$$P2 = 287,2 / (3 * 44) = 2,17\%$$

$$P3 = 298,3 / (3 * 44) = 2,26\%$$

$$P4 = 318,4 / (3 * 44) = 2,41\%$$

Как видим, прогнозируемый процент потери во всех случаях вписывается в нормы (до 5%).

На основании полученных данных можно подобрать наиболее подходящие по сечению и токам провода, пуско-регулирующее оборудование, корректировать мощности ламп и т.п. Для облегчения расчётного процесса придумано много полезных приложений, учитывающих все описанные величины. Они позволят не пересчитывать каждый раз всё вручную при замене какой-либо составляющей светотехнического проекта.

При создании проекта линий под осветительные сети нужно добиваться, чтобы напряжения нагрузки по ним распределялись максимально равномерно. Тогда проводники будут меньше нагреваться, снизится процент потерь и убытков, уменьшится риск возникновения аварий.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Задача 1

Произвести светотехнический расчет по потере напряжения

Исходные данные:

$N=12$ шт.

$l_{нт.}=6\text{ м}$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сущность понятия «потеря напряжения»
2. Почему необходимо делать предварительный расчет мощности (напряжения) для будущей линии освещения?

3. Активное и реактивное сопротивление (сущность понятий)
4. Почему при планировании линий, протяжённостью в несколько километров, обязательно должно учитываться индуктивное сопротивление проводов?
5. От каких параметров зависит выбор максимального сечения проводов?

Практическая работа № 4
«РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПЕРВОГО
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ШИНОПРОВОДА»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – научиться производить расчет электрических нагрузок первого распределительного шинпровода.

Для выполнения работы необходимо **знать**:

– методику расчета электрических нагрузок первого распределительного шинпровода

Для выполнения работы необходимо **уметь**:

– находить и использовать необходимую техническую информацию;

– производить расчет электрических нагрузок первого распределительного шинпровода.

Выполнение данной работы способствует формированию профессиональных компетенций: ПК 1.1. Выполнить наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.2. Организовать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ: 90 минут

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

В соответствии с расположением технологического оборудования и местонахождением шинпроводов производим расчет и выбор 2 магистральных и 6 распределительных шинпроводов.

Расчет нагрузок распределительных шинпроводов проводим методом коэффициента максимума. Предварительно, для электроприемников(ЭП), работающих в повторно – кратковременном режиме (ПКР), паспортную мощность приводим к мощности длительного режима (ДР) по формуле:

$$P_{уст} = P_{ном} \cdot \sqrt{ПВ}$$

Для кран-балок: ПВ=40%

$$P_{кр.м} = 60 * 2 * \sqrt{0,4} = 75 \text{ кВт}$$

Для трансформатора сварочного: ПВ=40%

$$P_{н} = 40 * 2 * \sqrt{0,4} = 50,5 \text{ кВт}$$

Для ножниц гильотинных: ПВ=40 %

$$P_{н} = 10 * 2 * \sqrt{0,4} = 12 \text{ кВт}$$

Для определения максимальных расчетных нагрузок первого распределительного шинпровода ШРА1, к которому подсоединено 20 ЭП, находим средние активные и реактивные мощности за наиболее нагруженную смену.

Далее все ЭП, подключенные к каждому шинпроводу, разделяем на группы с однотипными, характерными условиями работы и находим для каждой группы показатели их нагрузок: коэффициент использования $K_{и}$ и коэффициент реактивной мощности $tg\varphi$.

Для группы металлообрабатывающих станков $K_{и}=0,14; tg\varphi=1,73$

$$P_{см} = 0,14 * 350 = 49 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{см} = P_{см} * \tan \varphi = 49 * 1,73 = 84,77 \text{ (кВар)}$$

Средневзвешенный $tg\varphi$

$$tg\varphi = Q_{см} / P_{см} = 1,7$$

Общее количество ЭП, питающихся от шинпровода, $n=20$, из них крупных ЭП $n_1=0$. Суммарная установленная мощность ЭП $P_y=350$ кВт.

Средний коэффициент использования групп ЭП:

$$K_{и.ср.} = \frac{P_{см}}{P_y} = \frac{49}{350} = 0,14$$

$K_{и.ср.} \geq 0,14$ расчет проводим в следующем порядке.

Определяем:

Максимальную расчетную активную нагрузку шинпровода

$$P_p = K_3 \times P_y = 0,9 \times 350 = 315 \text{ кВт}$$

Максимальную расчетную реактивную нагрузку шинпровода

$$Q_p = Q_{cm} = 84,77 \text{ кВАр}$$

Полную расчетную нагрузку шинпровода

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{315^2 + 84,77^2} = 326,2 \text{ кВА}$$

Расчетный ток в шинпроводе

$$I_p = \frac{S_p}{1,73 * U} = 496,1 \text{ А}$$

Из справочных материалов выбираем распределительный шинпровод типа ШРА 73 с номинальным током $I_n = 630 \text{ А}$. Аналогичным образом рассчитываются и выбираются остальные распределительные шинпроводы.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Задача 1

Произвести расчет электрических нагрузок первого распределительного шинпровода.

Исходные данные:

Для кран-балок: ПВ=40%

Для трансформатора сварочного: ПВ=40%

Для ножниц гильотинных: ПВ=40 %

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение шинпровода, основные виды
2. Сущность понятия «магистральный шинпровод»
3. Сущность понятия «распределительный шинпровод» Коэффициент максимума: назначение расчета
4. Какие параметры принимаются во внимание для расчета нагрузок шинпроводов?
5. Как осуществляется выбор распределительных и магистральных шинпроводов?

Практическая работа № 5 «РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОСТАЛЬНЫХ ШИНОПРОВОДОВ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – научиться производить расчет электрических нагрузок остальных шинопроводов.

Для выполнения работы необходимо **знать**:

– методику расчета электрических нагрузок остальных шинопроводов

Для выполнения работы необходимо **уметь**:

– находить и использовать необходимую техническую информацию;

– производить расчет электрических нагрузок остальных шинопроводов.

Выполнение данной работы способствует формированию профессиональных компетенций: ПК 1.1. Выполнить наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.2. Организовать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ: 90 минут

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Для определения максимальных расчетных нагрузок первого распределительного шинопровода ШРА 2.3.4.5.6, к которому подсоединен электроприемник ЭП, находим средние активные и реактивные мощности за наиболее нагруженную смену.

Далее все ЭП, подключенные к каждому шинопроводу, разделяем на группы с однотипными, характерными условиями работы и находим для каждой группы показатели их нагрузок: коэффициент использования $K_{и}$ и коэффициент реактивной мощности $tg\varphi$.

Для группы металлообрабатывающих станков $K_{и}=0,14$; $tg\varphi=1,73$

$$P_{см} = 0,14 * 350 = 49 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{см} = P_{см} * \tan \varphi = 49 * 1,73 = 84,77 \text{ (кВар)}$$

Средневзвешенный $tg\varphi$

$$tg\varphi = Q_{см} / P_{см} = 1,7$$

Общее количество ЭП, питающихся от шинопровода, $n=20$, из них крупных ЭП $n_1=0$.
Суммарная установленная мощность ЭП $P_y=350$ кВт.

Средний коэффициент использования групп ЭП:

$$K_{и.ср.} = \frac{P_{см}}{P_y} = \frac{49}{350} = 0,14$$

$K_{и.ср.} \geq 0,14$ расчет проводим в следующем порядке.

Определяем:

Максимальную расчетную активную нагрузку шинопровода

$$P_p = K_з \times P_y = 0,9 \times 350 = 315 \text{ кВт}$$

Максимальную расчетную реактивную нагрузку шинопровода

$$Q_p = Q_{см} = 84,77 \text{ кВАр}$$

Полную расчетную нагрузку шинопровода

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{315^2 + 84,77^2} = 326,2 \text{ кВА}$$

Расчетный ток в шинопроводе

$$I_p = \frac{S_p}{1,73 * U} = 496,1 \text{ А}$$

Из справочных материалов выбираем распределительный шинопровод типа ШРА 73 с номинальным током $I_n = 630 \text{ А}$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Задача 1

Произвести расчет электрических нагрузок остальных шинопроводов.

Исходные данные:

Для группы металлообрабатывающих станков $K_n=0,14$; $\operatorname{tg}\varphi=1,73$

$$P_{\text{см}} = 0,14 * 350 = 49 \text{ (кВт)}$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} * \operatorname{tg} \varphi = 49 * 1,73 = 84,77 \text{ (кВар)}$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение шинопровода
2. Какие параметры принимаются во внимание для расчета нагрузок шинопроводов?
3. Как осуществляется расчет электрических нагрузок остальных шинопроводов?

Практическая работа № 6 «РАСЧЕТ И ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ И ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – научиться производить расчет и осуществлять выбор аппаратов защиты и проводниковых материалов.

Для выполнения работы необходимо **знать**:

– методику расчета и выбора аппаратов защиты и проводниковых материалов

Для выполнения работы необходимо **уметь**:

– находить и использовать необходимую техническую информацию;

– производить расчет и осуществлять выбор аппаратов защиты и проводниковых материалов.

Выполнение данной работы способствует формированию профессиональных компетенций: ПК 1.1. Выполнить наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.2. Организовать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ: 90 минут

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

При эксплуатации электросетей длительные перегрузки проводов и кабелей, короткие замыкания (КЗ) приводят к преждевременному износу изоляции токопроводящих жил, следствием чего может быть пожар, взрыв, поражение персонала. Для предотвращения этого линия электроснабжения имеет аппараты защиты, отключающие поврежденный участок. Современными аппаратами защиты, надежно срабатывающими при перегрузках и КЗ в линиях, являются автоматические выключатели. Наиболее совершенными в настоящее время являются автоматы серии ВА. Их и принимаем для расчета.

Выбираем аппарат защиты для шинпровода ШРА1 с помощью которого он подключается к проводам, идущим от ШМА1.

От ШРА1 питаются 22 ЭП в основном с электродвигателями, поэтому рассчитывает ток срабатывания расцепителя автомата с учетом пускового тока электродвигателя наибольшей мощности, который установлен револьверный станок. Его мощность $P_n = 22,5 \text{ кВт}$, номинальный ток:

$$I_n = P_n / 1,73 * 0,38$$

$$I_n = 22,5 / 1,73 * 0,38 = 34,6$$

$$\text{Пусковой ток: } I_p = 34,6 * 7 = 242,2 \text{ А}$$

$$\text{Длительный расчетный ток в линии ШРА 1 } I_r = 494,78 \text{ А}$$

Выбираем автомат типа ВА для групповой линии с несколькими электродвигателями из условия. $I_n \geq I_r \geq 630 \text{ А}$

выбираем автомат ВА 51-39 $I_n = 630 \text{ А}$ (тб на стр 38). Выбираем ступенчатую регулировку эл. магнитного расцепителя автомата $I_{нр} = 500 \text{ А}$

Проверяем ток отсечки электромагнитного расцепителя, автоматического выключателя для групповой линии с несколькими электродвигателями по пиковому току $I_{пик}$. $I_o \geq 1,25 * I_{пик}$

$$I_{пик} = I_{н.нб} + I_p - K_u \times I_{н.нб} \quad (3.3)$$

где K_u - коэффициент использования для двигателя наибольшей мощности, $K_u = 0,14$

$$I_{пик} = 242,2 + 494,78 - 0,14 \times 34,6 = 732,136 \text{ А}$$

$$I_o \geq 1,25 \times 732,136 = 915,17 \text{ А}$$

Определяем кратность установки тока отсечки

$$K_o = I_o / I_{н.р} = 915,17 / 500 = 1,8$$

Принимаем $K_o = 2$

$$I_{т.р} = 494,78 * 2 = 989,56 \text{ А}$$

$$I_{T.P} \geq I_H$$

$$989,56 \geq 915,17$$

Условие выполняется, ложные срабатывания не будут.

Далее выбираем аппарат защиты для ответвления к одиночному ЭП, подключенному к шинопроводу ШРА 1 (токарно-револьверный станок).

По соотношению $I_{T.P.} \geq I_H * 1,25$ А выбираем автомат типа ВА 51-31-1 на номинальный ток $I_H = 100A$ и номинальным током теплового расцепителя $I_{np.} = 50A$.

Определяем ток отсечки расцепителя для линии с одним электродвигателем.

Определяем ток отсечки расцепителя

$$I_{тр} \geq 1,25 \times 34,6 = 43,25A$$

$$I_o \geq I_n * 1,25 = 1,25 * 242,2 = 302,75A$$

$$K_o \geq I_o / I_{np}$$

$$K_o \geq \frac{302,75}{40} = 8$$

$$K_o \geq 8$$

$$I_{тр} = 40 * 8 = 320$$

$$I_{тр} \geq I_o$$

$$320 \geq 302,75$$

Условие выполняется, ложных срабатываний не будет.

Аналогичным образом проводим расчет и выбор остальных аппаратов защиты, входящих в схему электроснабжения оборудованного участка.

Сечения проводов и кабелей для ответвлений к одиночному двигателю с короткозамкнутым ротором выбираются по условию нагрева длительным расчетным током $I_{д.р.}$ и условию соответствия току аппарата защиты I_3 . При этом, для невзрывоопасных помещений по условию допустимого нагрева он равен номинальному току двигателя.

$$I_{н.д.} = I_{д.р.}$$

Следовательно, допустимый ток кабеля или провода в нормальном режиме работы $I_{доп.}$ должен быть

$$I_{доп.} \geq I_{н.д.}$$

Выбираем для ответвления к одиночному ЭП подключенному к ШРА 1 (токарно-револьверный станок) провод:

$$I_{доп.} \geq I_n = \frac{22,5}{1,73 * 0,38} = 34,61A$$

По таблице токовых нагрузок на провода проложенные в трубе, находим сечение жилы 6 мм^2 .

Выбираем подвод питания к ЭП проводами ПРРП(4×6) в трубе на уровне -0,3 м от поверхности пола.

Аналогичным образом проводим расчет и выбор остальных проводов и кабелей к одиночным эл. двигателям с к.з ротором

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Задача 1

Произвести расчет и осуществить выбор аппаратов защиты и проводниковых материалов

Исходные данные:

От ШРА1 питаются 22 ЭП в основном с электродвигателями, поэтому рассчитывает ток срабатывания расцепителя автомата с учетом пускового тока электродвигателя наибольшей мощности, который установлен револьверный станок. Его мощность $P_n = 22,5 \text{ кВт}$, номинальный ток:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие факторы приводят к преждевременному износу изоляции токопроводящих жил?
2. Назначение автоматических выключателей

3. Ток отсечки (сущность понятия)
4. Условия допустимого тока кабеля или провода в нормальном режиме работы

Практическая работа №7 «РАСЧЕТ И ВЫБОР КОМПЕНСИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – научиться производить расчет и осуществлять выбор компенсирующего устройства.

Для выполнения работы необходимо **знать**:

– методику расчета и выбора компенсирующего устройства

Для выполнения работы необходимо **уметь**:

– находить и использовать необходимую техническую информацию;

– производить расчет и осуществлять выбор компенсирующего устройства.

Выполнение данной работы способствует формированию профессиональных компетенций: ПК 1.1. Выполнить наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.2. Организовать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ: 90 минут

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Величина электрической мощности в сетях зависит от коэффициента мощности $\cos \varphi$. Для его повышения естественным путем применяют следующие мероприятия:

- правильный выбор мощности и типа электродвигателей
- ограничение работы эл.двигателей с завышенной мощностью
- более качественный ремонт эл.двигателей.

Значительное повышение коэффициента мощности естественным методом невозможно, поэтому в дополнение к естественным применяют искусственные способы компенсации реактивной мощности.

В качестве искусственных компенсирующих устройств (КУ) применяют конденсаторные установки.

Расчетную реактивную мощность КУ определяем по формуле:

$$Q_{к.р.} = \alpha \times P(tg\varphi - tg\varphi_k)$$

где $Q_{к.р.}$ - расчетная мощность КУ, кВАр.;

P - максимальная активная нагрузка, кВт ;

α - коэффициент, учитывающий повышение $\cos \varphi$ естественным способом (обычно $\alpha = 0,9$), $tg\varphi, tg\varphi_k$ - коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

По опыту эксплуатации электрооборудования компенсацию реактивной мощности производят до получения значения $\cos \varphi_k = 0,92-0,95$.

Задавшись $\cos \varphi_k = 0,95$ определяем, что необходим $tg\varphi_k = 0,33$. Значения $P = S$ кВт, $tg\varphi = 1,5$ принимаются по результатам расчета электрических нагрузок цеха. Тогда

$$Q_{к.р.} = 0,9 * 1769,01 * (1,5 - 0,33) = 1862,7 \text{ квар}$$

По справочным материалам выбираем стандартную комплектную компенсирующую установки типа: УКЛ(П)Н 0,38-300-50У3 6 шт. , УКН 0,38-75У3 2шт.

Пример расчета

Дано: Исходные данные из РПЗ-5

Параметр	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	P_M , кВт	Q_M , квар	S_M , кВ·А
Всего на НН без КУ	0,85	0,63	393,6	210,1	473,1

Требуется:

- рассчитать и выбрать КУ;
- выбрать трансформатор с учетом КУ;
- сравнить с трансформатором без учета КУ.

Решение:

- Определяется расчетная мощность КУ

$$Q_{к.р} = \alpha P_M (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi_k) = 0,9 \cdot 393,6 \cdot (0,63 - 0,33) = 106,3 \text{ квар.}$$

Принимается $\cos \varphi_k = 0,95$, тогда $\operatorname{tg} \varphi_k = 0,33$.

- По [5, с. 127] выбирается $2 \times$ УК 2-0,38-50 со ступенчатым регулированием по 25 квар, по одной на секцию.
- Определяются фактические значения $\operatorname{tg} \varphi_\phi$ и $\cos \varphi_\phi$ после компенсации реактивной мощности:

$$\operatorname{tg} \varphi_\phi = \operatorname{tg} \varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha P_M} = 0,63 - \frac{2 \cdot 50}{0,9 \cdot 393,6} = 0,35; \quad \cos \varphi_\phi = 0,94.$$

Результаты расчетов заносятся в «Сводную ведомость нагрузок» (таблица 1.6.1).

- Определяются расчетная мощность трансформатора с учетом потерь:

$$\begin{aligned} S_p &= 0,7 S_{ВН} = 0,7 \cdot 429,2 = 300,5 \text{ кВ·А;} \\ \Delta P_T &= 0,02 S_{НН} = 0,02 \cdot 408,7 = 8,2 \text{ кВт;} \\ \Delta Q_T &= 0,1 S_{НН} = 0,1 \cdot 408,7 = 40,9 \text{ квар;} \\ \Delta S_T &= \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{8,2^2 + 40,9^2} = 41,7 \text{ кВ·А.} \end{aligned}$$

- По [5, с. 110] выбирается трансформатор типа ТМ 400-10/0,4:

$$\begin{aligned} R_T &= 5,6 \text{ мОм;} & \Delta P_{xx} &= 0,95 \text{ кВт;} \\ X_T &= 14,9 \text{ мОм;} & \Delta P_{кз} &= 5,5 \text{ кВт;} \\ Z_T &= 15,9 \text{ мОм;} & u_{кз} &= 4,5 \% ; \\ Z_T^{(1)} &= 195 \text{ мОм;} & i_{xx} &= 2,1 \% . \end{aligned}$$

- Определяется

Таблица 2 - Технические характеристики электроприемников

№ п/п	Наименование электроприемника	$P_{н\text{, кВт}}$	n	$K_{н}$	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$
1	2	3	4	5	6	7
3-фазный ДР						
1	Компрессорная установка	28	5	0,65	0,8	0,75
2	Вентиляторная установка	15	4	0,7		
3	Насосная установка	55	8			
4	Станок фрезерный	11,5	14	0,14	0,5	1,73
5	Станок токарный	14	12			
6	Станок строгальный	11	10			
7	Станок карусельный	40	2			
8	Станок наждачный	2,8	5			
9	Станок винторезный	15	6			
10	Станок расточный	42	2			
11	Станок шлифовальный	3	15			
12	Станок слиткообдирочный	45	4			
13	Станок галтовочный	4	8			
14	Молот ковочный	15	7	0,24	0,65	1,17
15	Пресс штамповочный	4,5	12			
16	Автомат фрезерный	7,5	20	0,17		
17	Печь индукционная	8	4	0,75	0,35	2,67
18	Печь дуговая	30	4		0,87	0,56
19	Печь сопротивления	35	6	0,8	0,95	0,33
20	Конвейер ленточный	35	2	0,55	0,75	0,88
21	Транспортер роликовый	10	3			
3-фазный ПКР						
22	Кран мостовой, ПВ = 25 %	30	2	0,05		
23	Тележка подвесная, ПВ = 40 %	4	8	0,1	0,5	1,73
24	Тельфер транспортный, ПВ = 60 %	10	3			

1	2	3	4	5	6	7
1-фазный ПКР						
25	Трансформатор сварочный, ПВ = 40 %	28 кВт·А	5	0,2	0,4	2,29
26	Аппарат дуговой сварки, ПВ = 60 %	16 кВт·А	5	0,3	0,35	2,67
27	Аппарат стыковой сварки, ПВ = 25 %	14 кВт·А	5	0,35	0,55	1,51
Осветительная установка		9...11 Вт/м ²			1	—
28	Лампы накаливания					
29	Газоразрядные лампы			0,85	0,95	0,33

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Задача 1

Произвести расчет и выбор компенсирующего устройства

Исходные данные:

$$\cos \varphi_k = 0,95$$

$$\text{tg } \varphi = 1,5$$

$$\text{tg } \varphi_k = 0,33.$$

$$P = S = 1770 + K \text{ кВт}$$

Найти: $Q_{к.р}$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определяется реактивная мощность?
2. От чего зависит величина электрической мощности в сетях?

3. Назначение, виды компенсирующих устройств
4. Критерии выбора компенсирующего устройства
5. Для чего применяются применяют искусственные способы компенсации реактивной мощности.

Практическая работа №8 «РАСЧЕТ И ВЫБОР ЛИНИИ ВН»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – научиться производить расчет и осуществлять выбор линии ВН.

Для выполнения работы необходимо **знать**:

– методику расчета и выбора линии ВН

Для выполнения работы необходимо **уметь**:

– находить и использовать необходимую техническую информацию;

– производить расчет и осуществлять выбор линии ВН

Выполнение данной работы способствует формированию профессиональных компетенций: ПК 1.1. Выполнить наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.2. Организовать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ: 90 минут

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

При проектировании высоковольтных кабельных линий критерием для выбора их сечения является экономическая плотность тока. В ПУЭ установлены значения экономических плотностей тока $J_{э.к}$, зависящие от материала, конструкции провода, продолжительности использования максимума нагрузок... Обычно, для проводов и кабелей с алюминиевыми и медными жилами принимают $J_{э.к} = 1,4 \text{ А/мм}^2$

Расчетный ток в высоковольтном кабеле определяют исходя из номинальной мощности трансформатора $S_T = Q_{к.р}$ и номинального напряжения сети U_n

$$I_{расч} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \times U_n}$$

$$I_p = \frac{Q_{к.р}}{\sqrt{3} * U_n} = \frac{2500}{1.73 * 10} = 144.5 \text{ А}$$

Экономически целесообразное сечение $F_{э.к}$ определяем предварительно по расчетному току $I_{РАСЧ}$

$$F_{э.к} = \frac{I_{расч}}{J_{э.к}}$$

$$F_{э.к} = \frac{144,5}{1,4} = 103,2 \text{ мм}^2$$

Найденное расчетное сечение округляем до ближайшего стандартного 120 мм. Выбираем предварительно силовой бронированный кабель с бумажной изоляцией в свинцовой оболочке марки АСБ (3*120) кв.мм., с нулевой жилой 50мм² на напряжение 10 кВ с допустимой токовой нагрузкой 240А. Кабель от КТП участка до ГПП завода прокладывается в земле.

Для обеспечения нормальных условий работы кабельной линии и правильной работы защищающих аппаратов, выбранное сечение должно быть проверено по допустимой нагрузке по нагреву в нормальном и послеаварийном режимах, а также по термической стойкости при токах КЗ по условию

$$I_{РАСЧ.} \leq I_{ДОП}$$

где - $I_{ДОП} = 240 \text{ А}$ – допустимая токовая нагрузка на кабель АСБ (3*120) на 240А
 $144,5 \leq 240$

т.е. условие по нагреву кабеля в нормальном режиме выполняется.

Согласно ПУЭ перегрузка для трансформаторов в аварийном режиме работы допускается до 130-140%. Поэтому для выбранного кабеля должно выполняться условия

$$I_{A.B} \leq I_{доп}$$

где $I_{ав} = 1,4 * I_p = 1,4 * 144,5 = 202,3 \text{ А}$ – ток в кабеле при аварийном режиме работы трансформатора.

$$202,3 \leq 240$$

т.е. условие по нагреву кабеля при аварийном режиме работы трансформатора выполняется.

По двум условиям выбранный кабель соответствует заданным параметрам. Проверку сечения кабеля по термической стойкости проведем после расчета токов КЗ.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Задача 1

Произвести расчет и выбор линии ВН

Исходные данные:

$$J_{э.к} = 1,4 \text{ А/мм}^2$$

$$S_T = Q_{к.р} = 2500$$

Найти: $F_{э.к}$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По какой формуле определяется расчетный ток у высоковольтного кабеля?
2. Критерии выбора сечения высоковольтных кабельных линий
3. Какие параметры задаются при выборе линии ВН?

Практическая работа №9,10,11 «РАСЧЕТ ТОКОВ КЗ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – научиться производить расчет токов КЗ.

Для выполнения работы необходимо **знать**:

– методику расчета токов КЗ

Для выполнения работы необходимо **уметь**:

– находить и использовать необходимую техническую информацию;

– производить расчет токов КЗ.

Выполнение данной работы способствует формированию профессиональных компетенций: ПК 1.1. Выполнить наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.2. Организовать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ: 90 минут

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

По расчётной схеме ЭСН участка составляем схему замещения (Рисунок 3.1), выбираем и нумеруем точки КЗ, вычисляем сопротивления элементов и наносим их на схему замещения.

Для системы (высоковольтного кабеля АСБ 3×120), кабельных линий и шинопроводов

$$R = r_0 \cdot L; X = X_0 \cdot L$$

где r_0 и x_0 – удельные активные и индивидуальное сопротивление, м Ом/м;

L - протяженность линии, м.

Удельные сопротивления для расчета 3-фазных и 2-фазных токов КЗ определяем по таблицам 1.9.1-1.9.4 [2].

Для высоковольтного кабеля

$$X_0 = 0,0602 \text{ мОм/м (тб 12.5)}$$

$$X_c^* = X_0 \times L_c$$

$$X_c^* = X_0 \times L_c = 0,0602 \times 2800 = 168,56 \text{ мОм}$$

$$r_j = 261 \text{ мОм/м}$$

$$R_c^* = r_0 \times L_c$$

$$R_c = 0,261 \times 2800 = 730,8 \text{ мОм/м}$$

Сопротивление элементов на ВН приводим к НН[2]

$$R_{НН} = R_{ВН} \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}} \right)^2; \quad X_{НН} = X_{ВН} \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}} \right)^2$$

где $R_{НН}$ и $X_{НН}$ – сопротивления, приведенные к НН, м Ом;

$R_{ВН}$ и $X_{ВН}$ - сопротивления, приведенные к ВН, м Ом

$U_{НН}$ и $U_{ВН}$ – напряжение низкое и высокое, кВ.

Тогда

$$R_c = R_c^* \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}} \right)$$

$$R_c = 730,8 \times (0,4/10) = 1,16 \text{ мОм}$$

$$X_c = X_c^* \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}} \right)$$

$$X_c = 168,56 \times (0,4/10) = 0,26 \text{ мОм}$$

Для трансформатора по таблице 12,1 находим

$$R_T = 1 \text{ мОм} \quad X_T = 5,4 \text{ мОм}$$

Для автомата по таблице 12,3 (в мОм)

$$2500A \text{ R1SF} = 0,06 \quad X1SF = 0,07 \quad Rn1SF = 0,07$$

$$1600A \text{ RSF1} = 0,08 \quad XSF1 = 0,08 \quad RnSF1 = 0,1$$

$$600A \text{ RSF2} = 0,12 \quad XSF2 = 0,13 \quad RnSF2 = 0,25$$

$$100A \quad R_{SF3} = 1,3 \quad X_{SF3} = 1,2 \quad R_{nSF3} = 0,75$$

Для шинопровода ШМА 1600А

$$r_0 = 0,03 \quad x_0 = 0,014$$

$$r_{0n} = 0,06 \quad x_{0n} = 0,06$$

$$R_{шМ} = r_0^* \times L$$

$$R_{шма} = r_0 \times l = 0,03 \times 23 = 0,7 \text{ мОм}$$

$$X_{шМ} = x_0^* \times L$$

$$X_{шма} = x_0 \times l = 0,014 \times 23 = 0,3 \text{ мОм}$$

Для шинопровода ШРА 630А из таблицы 12,7

$$r_0 = 0,15 \quad x_0 = 0,17$$

$$r_{0n} = 0,3 \quad x_{0n} = 0,24$$

$$R_{шP} = r_0^* \times L$$

$$R_{шра} = r_0 \times l = 0,15 \times 47 = 7,1 \text{ мОм}$$

$$X_{шP} = x_0^* \times L$$

$$X_{шра} = X_0 \times l = 0,17 \times 47 = 8 \text{ мОм}$$

Для кабельной линии по таблице 12,5в (мОм/м)

$$R_{го} = 3,09 \quad X_0 = 0,1$$

$$R_{кл} = r_0^* \times L$$

$$R_{кл} = 3,09 \times 1 = 3,09 \text{ мОм}$$

$$X_{кл} = x_0 \times L$$

$$X_{кл} = 0,1 \times 1 = 0,1 \text{ мОм}$$

Для ступени распределения по таблице 12,4 (в мОм)

$$R_{c1} = 15 \quad R_{c2} = 20 \quad R_{c3} = 25$$

Далее схема замещения упрощается путем суммирования найденных сопротивлений на участках между точками КЗ т. е. вычисляются и наносятся на схему эквивалентные сопротивления (в мОм).

$$R_{э1} = R_c + R_T + R_{1se} + R_{n1SF} + R_{c1} = 1,16 + 1 + 0,07 + 15 = 17,23 \text{ мОм}$$

$$X_{э1} = X_c + X_T + X_{1SF} = 0,26 + 5,4 + 0,07 = 5,73 \text{ мОм}$$

$$R_{э2} = R_{SF1} + R_{nSF1} + R_{шма} + R_{c2} = 0,08 + 0,1 + 0,7 + 20 = 20,88 \text{ мОм}$$

$$X_{э2} = X_{SF1} + X_{шма} = 0,08 + 0,3 = 0,38 \text{ мОм}$$

$$R_{э3} = R_{SF2} + R_{nSF2} + R_{шра} + R_{c3} = 0,12 + 0,25 + 7,1 + 25 = 32,47 \text{ мОм}$$

$$X_{э3} = X_{SF2} + X_{шра} = 0,13 + 8 = 8,13 \text{ мОм}$$

$$R_{э4} = R_{2SF} + R_{n2SF} + R_{кл} = 1,3 + 0,75 + 3,09 = 5,14 \text{ мОм}$$

$$X_{э4} = X_{2SF} + X_{кл} = 1,2 + 0,1 = 1,3 \text{ мОм}$$

Вычисляем полные сопротивления от источника до каждой точки КЗ по формуле:

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2}$$

Для точки К1:

$$R_{k1} = R_c + R_{э1} = 730,8 + 17,3 = 748,1 \text{ мОм}$$

$$X_{k1} = X_c + X_{э1} = 168,56 + 5,73 = 173,99 \text{ мОм}$$

$$Z_1 = 768,05 \text{ мОм}$$

К2:

$$R_{k2} = R_{э2} = 20,88 \text{ мОм}$$

$$X_{k2} = X_{э2} = 0,38 \text{ мОм}$$

$$Z_{k2} = 20,88 \text{ мОм}$$

К3:

$$R_{k3} = R_{э3} = 32,47 \text{ мОм}$$

$$X_{k3} = X_{э3} = 8,13 \text{ мОм}$$

$$Z_{k3} = 33,47 \text{ мОм}$$

К4:

$$R_{k4} = R_{э4} = 5,14 \text{ мОм}$$

$$X_{k4} = X_{э4} = 1,3 \text{ мОм}$$

$$Z_{k4} = 5,3 \text{ МОм}$$

Определяем коэффициенты ударной K_y и действующего значения ударного тока $q[2]$:

$$K_{y1} = 1,8 \quad K_{y2} = K_{y3} = K_{y4} = 1,4$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_{y1} - 1)} = 1,4$$

Определяем точки КЗ для каждой расчетной точки по формулам:

а) для 3-фазных КЗ, кА:

$$I_k^{(3)} = \frac{U_k}{\sqrt{3}Z_k} \quad (3.9)$$

где U_k – линейное напряжение в точке КЗ, кВ;

Z_k – полное сопротивление в точке КЗ, Ом;

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{10 * 1000}{\sqrt{3} * 768,05} = 7,6 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^{(3)} = \frac{0,4 * 1000}{\sqrt{3} * 20,88} = 11,26 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^{(3)} = \frac{0,38 * 1000}{\sqrt{3} * 33,47} = 6,67 \text{ кА}$$

$$I_{k4}^{(3)} = \frac{0,38 * 1000}{\sqrt{3} * 5,3} = 42,17 \text{ кА}$$

б) для 2-фазных КЗ, кА:

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k^{(3)}$$

$$I_{k1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} * 7,6 = 6,4 \text{ кА}$$

$$I_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} * 11,26 = 9,5 \text{ кА}$$

$$I_{k3} = \frac{\sqrt{3}}{2} * 6,67 = 5,6 \text{ кА}$$

$$I_{k4} = \frac{\sqrt{3}}{2} * 42,17 = 35,8 \text{ кА}$$

в) для ударного тока, кА:

$$i_g = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_k^{(3)}$$

где K_y – ударный коэффициент;

Тогда:

$$i_{yк1} = \sqrt{2} * 1,8 * 7,6 = 19,1 \text{ кА}$$

$$i_{yк2} = 1,4 * 1,4 * 11,26 = 22,06 \text{ кА}$$

$$i_{yк3} = 1,4 * 1,4 * 6,67 = 13,07 \text{ кА}$$

$$i_{yк4} = 1,4 * 1,4 * 42,17 = 82,65 \text{ кА}$$

г) действующего значения ударного тока

$$I_{yк} = q_1 \times I_k \text{ кА}$$

$$I_{yк1} = 1,4 * 7,6 = 10,64 \text{ кА}$$

$$I_{yк2} = 0,69 * 11,26 = 7,7 \text{ кА}$$

$$I_{yк3} = 0,69 * 6,67 = 4,6 \text{ кА}$$

$$I_{yк4} = 0,69 * 42,17 = 29,09 \text{ кА}$$

$$Z_{n1} = R_{c1} = 15 \text{ МОм} \quad R_{c2} = 20 \text{ МОм} \quad R_{c3} = 25 \text{ МОм}$$

$$R_{пшм} = r_{он} * l = 0,06 * 23 = 1,3 \text{ МОм}$$

$$X_{пшм} = x_{он} * l = 0,06 * 23 = 1,3 \text{ МОм}$$

$$R_{пшра} = 0,3 * 47 = 14,1 \text{ МОм}$$

$$X_{пшра} = 0,24 * 47 = 11,28 \text{ МОм}$$

$$r_{он} = 2 * 3,09 = 6,18$$

$$x_{он} = 0,1 * 2 = 0,2$$

$$R_{nkl} = r_{on} * l = 6,18 * 1 = 6,18 \text{ мОм}$$

$$X_{nkl} = x_{on} * l = 0,2 * 1 = 0,2 \text{ мОм}$$

$$Z_{n1} = 15 \text{ мОм}$$

$$R_{n2} = R_{c1} + R_{пшм} + R_{c2} + R_{пшр} + R_{c3} = 15 + 1,3 + 20 + 14,1 + 25 = 75,4 \text{ мОм}$$

$$X_{n2} = X_{пшм} + X_{пшр} = 1,3 + 11,28 = 12,58 \text{ мОм}$$

$$Z_{n2} = \sqrt{75,4^2 + 12,58^2} = 76,4 \text{ мОм}$$

$$R_{n3} \equiv R_{n2} + R_{nkl} \equiv 75,4 + 6,18 \equiv 81,58 \text{ мОм}$$

$$X_{n3} \equiv X_{n2} + X_{nkl} \equiv 12,58 + 0,2 \equiv 12,78 \text{ мОм}$$

$$Z_{n3} = \sqrt{R_{n3}^2 + X_{n3}^2} = 82,6 \text{ мОм}$$

Определяем токи однофазного КЗ для каждой расчетной точки по формуле:

$$I_k^{(1)} = \frac{U_{кф}}{Z_n + \frac{Z_T^{(1)}}{3}}, \text{ кА}$$

где $U_{н.ф}$ - фазное напряжение в точке КЗ, кВ

Z_n - полное сопротивление петли «фаза – нуль» до точки КЗ, мОм

$Z_T^{(1)}$ - полное сопротивление трансформатора однофазного КЗ, мОм (Табл.)

$$I_{k1}^{(1)} = U_{кф} / (Z_{n1} + Z_T^{(1)} / 3)$$

$$I_{k1}^{(1)} = \frac{220}{15 + \frac{54}{3}} = 6,6 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^{(1)} = \frac{220}{76,4 + \frac{54}{3}} = 2,3 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^{(1)} = \frac{220}{82,6 + \frac{54}{3}} = 2,1 \text{ кА}$$

После расчетов токов КЗ проводим проверку сечения жил высоковольтного кабеля по термической стойкости. Минимальное термически стойкое сечение определяется по формуле:

$$F_K = a \times I_K^{(3)} \sqrt{t_{np}}$$

где a - термический коэффициент ($a = 11$ - для алюминия);

$I_K^{(3)}$ - установившийся 3-фазный ток КЗ, кА;

t_{np} - приведенное время действия тока КЗ

Должно быть выполнено условие термической стойкости.

$$F \geq F_K$$

где F - предварительно принятое сечение жил кабеля, мм;

Тогда:

$$F_{kl} = 11 * 7,6 * \sqrt{0,5} = 58,52 \text{ кв. мм}$$

$$120 \geq 58,52$$

Как видим условие термической стойкости предварительно выбранного кабеля АСБ (3 × 120) выполняется.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Расчет токов короткого замыкания в относительных единицах при неизменной периодической составляющей.

Пример расчета:

Расчеты в относительных единицах более приемлемы для сетей напряжением выше 1000В.

Дано:

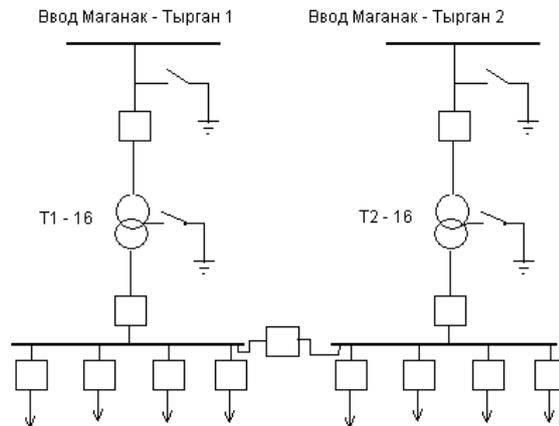
Однолинейная упрощенная схема подстанции

$$U_{б1} = 115 \text{ кВ}$$

$$U_{б2} = 10,5 \text{ кВ}$$

$$S_{вл} = 90 \text{ мм}^2$$

$L_{ВЛ}=40\text{км}$
 $S_{КЛ1}=35\text{ мм}^2$
 $L_{КЛ1}=0,05\text{км}$
 $S_{ном тр}=16\text{ мВА}$
 $S_{КЛ2}=25\text{мм}^2$
 $L_{КЛ2}=15\text{км}$



Найти:

Токи КЗ

Решение:

При расчетах в относительных единицах задаемся базисной мощностью системы

$$S_{\sigma} = 100 \text{ мВА.}, U_{\sigma 1} = 115 \text{ кВ}, U_{\sigma 2} = 10,5 \text{ кВ.}$$

Для определения суммарных базисных сопротивлений до точек короткого замыкания строим схему замещения системы электроснабжения:

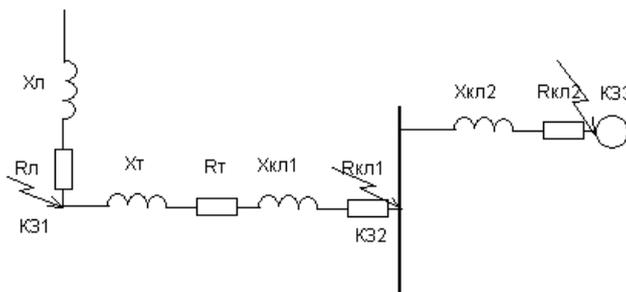


Рисунок 1 - Схема замещения

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \times U_{\sigma 1}} = \frac{100}{1,73 \times 115} = 0,5 \text{ кА}$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \times U_{\sigma 2}} = \frac{100}{1,73 \times 10,5} = 5,5 \text{ кА}$$

Относительные базисные сопротивления схемы:

Сопротивления воздушной линии:

$$X_{\sigma.л.} = X_0 \times L \times \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,42 \times 40 \times \frac{100}{115^2} = 0,127$$

$$R_{\sigma.л.} = R_0 \times L \times \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 1,23 \times 40 \times \frac{100}{115^2} = 0,37$$

Сопротивления трансформатора:

$$X_{\sigma.m.} = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{P_k}{S_{ном}}\right)^2} \times \frac{S_{\sigma}}{S_{ном}} = \sqrt{10,71^2 - \left(\frac{100}{16000}\right)^2} \times \frac{100000}{16000} = 66,87$$

$$R_{\sigma.m.} = P_k \times \frac{S_{\sigma}}{S_{н.т.}} = 100 \times \frac{100}{16} = 625$$

Сопротивления кабельной линии КЛ1:

$$X_{\sigma.кл1} = X_0 \times L \times \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,26 \times 0,05 \times \frac{100}{10,5^2} = 0,011$$

$$R_{\sigma.кл1.} = R_0 \times L \times \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,95 \times 0,05 \times \frac{100}{10,5^2} = 0,043$$

Сопротивления кабельной линии КЛ2:

$$X_{\sigma.кл2} = X_0 \times L \times \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 0,29 \times 15 \times \frac{100}{10,5^2} = 3,94$$

$$R_{\sigma.кл2.} = R_0 \times L \times \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2} = 2,07 \times 15 \times \frac{100}{10,5^2} = 28,16$$

Полное сопротивление до точки КЗ1:

$$Z_{кз1} = \sqrt{R_{л1}^2 + X_{л1}^2} = \sqrt{0,37^2 + 0,127^2} = 0,39$$

Приведенное сопротивление к низкой стороне напряжения:

$$X'_{кз2} = X_{кз2} \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}}\right)^2 = 66,99 \times \left(\frac{10}{110}\right)^2 = 0,553$$

$$R'_{кз2} = R_{кз2} \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}}\right)^2 = 625,37 \times \left(\frac{10}{110}\right)^2 = 5,16$$

Полное сопротивление до точки КЗ2:

$$R_{кз2} = R_{л1} + R_m + R_{кл1} = 5,16 + 0,043 = 5,203$$

$$X_{кз2} = X_{л1} + X_m + X_{кл1} = 0,553 + 0,011 = 0,564$$

$$Z_{кз2} = \sqrt{R_{кз2}^2 + X_{кз2}^2} = \sqrt{5,203^2 + 0,564^2} = 5,23$$

Полное сопротивление до точки КЗ3:

$$R_{кз3} = R_{кз2} + R_{кл2} = 5,203 + 28,16 = 33,36$$

$$X_{кз3} = X_{кз2} + X_{кл2} = 0,564 + 3,94 = 4,5$$

$$Z_{кз3} = \sqrt{R_{кз3}^2 + X_{кз3}^2} = \sqrt{33,36^2 + 4,5^2} = 33,66$$

Определяем токи короткого замыкания в точках КЗ:

$$I_{кз1} = \frac{I_{\sigma 1}}{Z_{кз1}} = \frac{0,5}{0,39} = 1,28 \text{ кА}$$

$$I_{кз2} = \frac{I_{\sigma 2}}{Z_{кз2}} = \frac{5,5}{5,23} = 1,05 \text{ кА}$$

$$I_{кз3} = \frac{I_{\sigma 2}}{Z_{кз3}} = \frac{5,5}{33,66} = 0,163 \text{ кА}$$

Ударные токи КЗ определяются по формуле :

$$i_{yкз1} = \sqrt{2} \times k_y \times I_{кз1} = 1,41 \times 1,8 \times 1,28 = 3,25 \text{ кА}$$

$$i_{yкз2} = \sqrt{2} \times k_y \times I_{кз2} = 1,41 \times 1,8 \times 1,05 = 2,66 \text{ кА}$$

$$i_{yкз3} = \sqrt{2} \times k_y \times I_{кз3} = 1,41 \times 1,8 \times 0,163 = 0,413 \text{ кА}$$

где K_y – ударный коэффициент.

Задание 1

1. Составить схемы замещения
2. Рассчитать сопротивления элементов схемы.
3. Определить токи короткого замыкания.

Исходные данные:

№ варианта	U _{б1} , кВ	U _{б2} , кВ	С _{вл} , мм	Л _{вл} , км	С _{ном} МВА	С _{кл1} , мм	Л _{кл1} , км	С _{кл2} , мм	Л _{вл2} , км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	115	10,5	95	20	16	50	5	25	30
2	35	6,3	35	15	10	50	3	35	10
3	220	35	120	50	125	150	15	50	8
4	110	35	95	35	25	120	20	50	15
5	220	35	110	50	100	120	25	70	10
6	115	10,5	95	20	16	50	5	25	30
7	35	6,3	35	15	10	50	3	35	10
8	220	35	120	50	125	150	15	50	8
9	110	35	95	35	25	120	20	50	15
10	220	35	110	50	100	120	25	70	10
11	110	35	95	35	25	120	20	50	15
12	220	35	110	50	100	120	25	70	10
13	115	10,5	95	20	16	50	5	25	30
14	330	10,5	110	40	125	70	15	35	25
15	115	10,5	95	20	16	50	5	25	30
16	35	6,3	35	15	10	50	3	35	10
17	220	35	120	50	125	150	15	50	8
18	110	35	95	35	25	120	20	50	15
19	220	35	110	50	100	120	25	70	10
20	110	35	95	35	25	120	20	50	15
21	220	35	110	50	100	120	25	70	10
22	115	10,5	95	20	16	50	5	25	30
23	330	10,5	110	40	125	70	15	35	25
24	35	6,3	35	15	10	50	3	35	10
25	220	35	120	50	125	150	15	50	8
26	110	35	95	35	25	120	20	50	15
27	330	10,5	110	40	125	70	15	35	25
28	35	6,3	35	15	10	50	3	35	10
29	220	35	120	50	125	150	15	50	8
30	110	35	95	35	25	120	20	50	15

Расчет токов короткого замыкания в именованных единицах**Задание 2**

1. Составить схемы замещения
2. Рассчитать сопротивления элементов схемы.
3. Определить токи короткого замыкания.

Исходные данные:

№ варианта	U _{б1} , кВ	U _{б2} , кВ	С _{вл} , мм	Л _{вл} , км	С _{ном} МВА	С _{кл1} , мм	Л _{кл1} , км	С _{кл2} , мм	Л _{вл2} , км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	115	10,5	95	20	16	50	5	25	30
2	35	6,3	35	15	10	50	3	35	10
3	220	35	120	50	125	150	15	50	8
4	110	35	95	35	25	120	20	50	15
5	220	35	110	50	100	120	25	70	10
6	115	10,5	95	20	16	50	5	25	30
7	35	6,3	35	15	10	50	3	35	10
8	220	35	120	50	125	150	15	50	8

9	110	35	95	35	25	120	20	50	15
10	220	35	110	50	100	120	25	70	10
11	110	35	95	35	25	120	20	50	15
12	220	35	110	50	100	120	25	70	10
13	115	10,5	95	20	16	50	5	25	30
14	330	10,5	110	40	125	70	15	35	25
15	115	10,5	95	20	16	50	5	25	30
16	35	6,3	35	15	10	50	3	35	10
17	220	35	120	50	125	150	15	50	8
18	110	35	95	35	25	120	20	50	15
19	220	35	110	50	100	120	25	70	10
20	110	35	95	35	25	120	20	50	15
21	220	35	110	50	100	120	25	70	10
22	115	10,5	95	20	16	50	5	25	30
23	330	10,5	110	40	125	70	15	35	25
24	35	6,3	35	15	10	50	3	35	10
25	220	35	120	50	125	150	15	50	8
26	110	35	95	35	25	120	20	50	15
27	330	10,5	110	40	125	70	15	35	25
28	35	6,3	35	15	10	50	3	35	10
29	220	35	120	50	125	150	15	50	8
30	110	35	95	35	25	120	20	50	15

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Методики расчета токов КЗ.
2. Физический процесс токов КЗ.
3. Определение ударного тока.

Практическая работа №12 «ВЫБОР ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – научиться осуществлять выбор высоковольтного выключателя.

Для выполнения работы необходимо *знать*:

– правила выбора высоковольтного выключателя

Для выполнения работы необходимо *уметь*:

– находить и использовать необходимую техническую информацию;

– осуществлять выбор высоковольтного выключателя.

Выполнение данной работы способствует формированию профессиональных компетенций: ПК 1.1. Выполнить наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.2. Организовать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ: 90 минут

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Выключатели ВН выбираются по напряжению, току, категории размещения, конструктивному выполнению и коммутационной способности.

Должны быть выполнены условия

$$U_{\text{ном.выкл}} \geq U_{\text{ном.у.}}$$

$$I_{\text{ном.выкл}} \geq I_{\text{max расч}}$$

где $U_{\text{ном.выкл}}$ - номинальное напряжение выключателя, кВ;

$U_{\text{ном.у.}}$ - номинальное напряжение установки, кВ;

$I_{\text{ном.выкл}}$ - номинальный ток выключателя, А;

$I_{\text{max расч}}$ - расчетный ток продолжительного режима работы установки, А.

В качестве расчетного тока продолжительного режима выбирается токпослеаварийного режима работы трансформатора, который можно вычислить исходя из его номинальной мощности $S_T=2500\text{ВА}$ и первичного напряжения $U_n=10\text{кВ}$ по формуле:

$$I_{\text{макс.расч.}} = \frac{1,4 * S_T}{\sqrt{3} * U_n} \quad (3.14)$$

тогда, $I_{\text{макс.расч}} = \frac{1,4 * 2500}{1,73} * 10 = 202,3\text{А}$

По найденному значению тока из таблицы (13.1) предварительно, выбираем выключатель ВММ – 10-400 -10 У2 со следующими техническими данными $U_{н.в.} = 10\text{кВ}$, $I_{н.в.} = 400\text{А}$, $I_{н.откл.} = 10\text{кА}$, $I_{т.с.} = 10\text{кА}$, $I_{ск.} = 25\text{кА}$, $t_{тс} = 4\text{с}$, $t_{ов} = 0,1\text{сек}$

Проверяем выбранный выключатель:

а) на динамическую стойкость должно быть выполнено условие

$$I_{ск} \geq I_y$$

где I_y - ударный ток электроустановки, кА;

$I_{ск}$ – сквозной ударный ток КЗ выключателя, кА;

По данным расчетов токов КЗ $i_v = 10,36\text{кА}$, $25\text{кА} > 910,36\text{кА}$,; т.е. условие выполняется

б) на отключающую способность должно быть выполнены условия

$$I_{н.откл.} \geq I_{р.откл.}$$

$$S_{н.откл.} \geq S_{р.откл.}$$

где $I_{н.откл.}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА;

$I_{р.откл.}$ – расчетный ток отключения установки, кА;

$S_{н.откл.}$ – номинальная полная мощность отключения выключателя, МВ А;

$S_{р.откл.}$ – расчетная полная мощность отключения установки, МВ А.

$$I_{p.откл.} = I_K^{(3)} = 7,6 \text{ кА} - \text{ по данным расчета токов КЗ}$$

$$S_{н.откл.} = \sqrt{3} \cdot I_{н.откл.} \cdot U_{ном.в} \quad (3.15)$$

$$S_{р.откл.} = \sqrt{3} \cdot I_{р.откл.} \cdot U_{ном.у.}$$

тогда, $S_{н.откл.} = 1.73 * 10 * 10 = 173 \text{ мВА}$

$$S_{р.откл.} = 1.73 * 7,6 * 10 = 131,48 \text{ мВА}$$

$$173 > 131,48$$

т.е. условие выполняется

в) на термическую стойкость должны быть выполнены условия

$$I_{т.с.} \geq I_{р.тс}$$

$$I_{р.тс} = I_{р.откл.} \sqrt{\frac{t_{пр}}{t_{тс}}} \quad (3.16)$$

где $I_{т.с.}$, $I_{р.тс}$ - точки термической стойкости, каталожные и расчетные, кА;

$t_{пр}$ - приведенное время действия тока КЗ (таблица 1.10.3 [2])

$$I_{р.тс} = 7,6 * \sqrt{\frac{0,5}{4}} = 7,4 * \sqrt{0,125} = 2,3 \text{ кА}$$

$$10 > 2,3$$

т.е. условие выполняется. Условия предварительного выбора высоковольтного выключателя выполнены.

Окончательно принимаем к установке выключатель ВММ – 10-400 -10 У2

Пример

Дано:

$$V_{н.у} = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{н.у} = 23,1 \text{ А}$$

$$R_c = 10 \text{ Ом}$$

$$X_c = 1,2 \text{ Ом}$$

$$t_d = 1 \text{ с}$$

Требуется:

- выбрать выключатель ВН, масляный;
- выполнить проверки;
- заполнить ведомость выключателя.

Решение:

1. Составляется «Ведомость выключателя ВН» (таблица 1.11.2). Заносятся известные данные.

По таблице 1.11.1 согласно условиям выбирается выключатель ВММ-10-400-10 У1:

$$V_{н.в} = 10 \text{ кВ};$$

$$I_{н.в} = 400 \text{ А};$$

$$I_{н.откл} = 10 \text{ кА};$$

$$I_{тс} = 10 \text{ кА};$$

$$i_{ск} = 25 \text{ кА};$$

$$t_{тс} = 4 \text{ с};$$

$$t_{ов} = 0,1 \text{ с}.$$

Необходимые данные заносятся в «Ведомость».

2. Определяются расчетные данные и заносятся в «Ведомость».

- Ток КЗ на ВН

$$I_k^{(3)} = \frac{V_{н.у}}{\sqrt{3}Z_k} = \frac{10}{1,73 \cdot 10,1} = 0,57 \text{ кА};$$

$$Z_k = \sqrt{R_c^2 + X_c^2} = \sqrt{10^2 + 1,2^2} = 10,1 \text{ Ом};$$

$$i_y = K_y \sqrt{2} I_k^{(3)} = 1,41 \cdot 0,57 = 0,8 \text{ кА};$$

$$K_y = 1; \quad I_\infty^{(3)} = 0,57 \text{ кА}.$$

- Отключающая способность

$$I_{р.откл} = I_\infty^{(3)} = 0,57 \text{ кА};$$

$$S_{р.откл} = \sqrt{3} I_{р.откл} V_{н.у} = 1,73 \cdot 0,8 \cdot 10 = 13,8 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$S_{н.откл} = \sqrt{3} I_{н.откл} V_{н.в} = 1,73 \cdot 10 \cdot 10 = 173 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

- Ток термической стойкости

$$I_{р.тс} = I_{р.откл} \sqrt{\frac{t_d}{t_{тс}}} = 0,57 \sqrt{\frac{1}{4}} = 0,28 \text{ кА}.$$

Параметры	Усл. обозн.	Ед. изм.	Условие выбора	Данные выключателя		Дополнительные сведения
				расчет.	катал.	
ВЫБОР						
Номинальное напряжение	V_n	кВ	$V_{н.в} \geq V_{н.у}$	10	10	ВММ-10-400-10У1 (таблица 1.11.1)
Номинальный ток	I_n	А	$I_{н.в} \geq I_{н.у}$	23,1	400	
ПРОВЕРКА						
Ток отключения	$I_{н.откл}$	кА	$I_{н.откл} \geq I_{р.откл}$	0,57	10	Отключающая способность
Мощность отключения	$S_{н.откл}$	МВ·А	$S_{н.откл} \geq S_{р.откл}$	13,8	173	
Амплитуда предельного ударного сквозного тока	$i_{ск}$	кА	$i_{ск} \geq i_y$	0,8	25	Динамическая стойкость
Предельный ток термической стойкости	$I_{тс}$	кА	$I_{тс} \geq I_{р.тс}$	0,28	10	Термическая стойкость

Условия выбора выполнены.

Ответ: Для ТП выбраны 2 × ВММ-10-400-10У1.

Таблица 1.11.1. Технические данные выключателей ВН на 10 кВ

Тип	Конструктивное исполнение	$I_{н.в}$, А	Предельные		$t_{тс}$, с	$I_{н.откл}$, кА	$t_{об}$, с
			$i_{ск}$, кА	$I_{тс}$, кА			
1	2	3	4	5	6	7	8
ВВЭ-10-20/630 УЗ -20/1000 -20/1600 -31,5/630 -31,5/1000 -31,5/1600 -31,5/2000 -31,5/3150	Вакуумные	630	52	20	3	20	0,055
		1000					
		1600					
		630	80	31,5			
			1000				
			1600				
			2000				
			3150				
ВЭ-10-1250-20 УЗ -1600- -2500- -3600- -1250-31,5 УЗ -1600- -2500- -3600-	С электромагнитным гашением дуги	1250	51	20	4	20	0,06
		1600					
		2500					
		3600	80	31,5			
			1250				
			1600				
	для КРУ	2500					
		3600					
ВЭМ-10Э-1000-20 УЗ -1250-	Электромагнитный	1000 1250	52	20	4	20	0,05
ВММ-10-400-10 У2 -10-400-10 У1	Маломасляный	400	25	10	4	10	0,1
ВМПЭ-10-630-20 У2 -10-630-31,5 У2	Масляный	630	52	20	4	20	0,25
			80	31,5		31,5	0,5
ВК-10-630-20 У2 -1000- -1600- -630-31,5 У2 -1000- -1600-	Колонковый масляный	630	52	20	4	20	0,05
		1000					
		1600					
		630	80	31,5		31,5	
		1000					
		1600					
ВКЭ-10-20/630 УЗ -20/1000 -20/1600 -31,5/630 -31,5/1000 -31,5/1600		630	52	20	4	20	0,07
		1000					
		1600					
		630	80	31,5		31,5	
		1000					
		1600					

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Задача 1

Произвести и выбор высоковольтного выключателя.

Исходные данные:

$S_T=2500\text{ВА}+\text{К}$

$U_n=10\text{кВ}$

$U_{н.в.} = 10\text{кВ}$, $I_{н.в.} = 400\text{ А}$, $I_{н.откл.} = 10\text{кА}$, $I_{т.с.} = 10\text{ кА}$, $I_{ск.} = 25\text{кА}$, $t_{тс} = 4\text{с}$, $t_{ов} = 0,1\text{ сек}$

Найти: $I_{р.тс}$

Задача 2

1. Выбрать выключатель.
2. Выполнить проверки.
3. Заполнить ведомость.

Вариант соответствует номеру студента по списку

Исходные данные:

№ вар.	$U_{н.у.},$ кВ	$I_{н.у.},$ кА	$R_c,$ Ом.	$X_c,$ Ом	$T_{д.},$ С.
1	10	45	12	1,2	1
2	6	85	8	1,1	0,5
3	10	90	6	0,9	1,2
4	6	700	15	1,2	1,5
5	10	150	17	1,1	1
6	6	450	18	0,9	0,5
7	10	250	12	1,2	1,2
8	6	120	8	1,1	1,5
9	10	45	6	0,9	1
10	6	85	15	1,2	0,5
11	10	90	17	1,1	1,2
12	6	700	18	0,9	1,5
13	10	150	12	1,2	1
14	6	450	8	1,1	0,5
15	10	250	6	0,9	1,2
16	6	120	15	1,2	1,5
17	10	45	17	1,1	1
18	6	85	18	0,9	0,5
19	10	90	12	1,2	1,2
20	6	700	8	1,1	1,5
21	10	150	6	0,9	1
22	6	450	15	1,2	0,5
23	10	250	17	1,1	1,2
24	6	120	18	0,9	1,5
25	10	45	12	1,2	1

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие должны быть выполнены условия для отключающей способности
2. Какие требования нужно выполнять при выборе электрических аппаратов в РУ.
3. Типы высоковольтных выключателей.

Практическая работа №13 «РАСЧЕТ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – научиться производить расчет релейной защиты трансформатора

Для выполнения работы необходимо **знать**:

– методику расчета релейной защиты трансформатора

Для выполнения работы необходимо **уметь**:

– находить и использовать необходимую техническую информацию;

– производить расчет релейной защиты трансформатора.

Выполнение данной работы способствует формированию профессиональных компетенций: ПК 1.1. Выполнить наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.2. Организовать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ: 90 минут

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

В условиях эксплуатации возможны повреждения отдельных элементов системы электроснабжения. Для определения места повреждения и подачи сигнала на отключение соответствующих выключателей устанавливаются специальные автоматические устройства, к которым относится релейная защита.

В схемах защиты с силовыми выключателями на ВН применяются следующие виды релейной защиты (РЗ):

- токовая отсечка (ТО) на реле типа РТ-40 косвенного действия при наличии электромагнита отключения (ЭМО), типа РТМ прямого действия при наличии пружинного привода выключателя ВН;
- максимальная токовая защита (МТЗ) на реле типа РТ-40 в сочетании с реле времени типа ЭВ-100 или ЭВ-200 для выключателей с ЭМО, типа РТВ для выключателей с пружинным приводом;
- сочетание ТО и МТЗ на реле типа ИТ-80, РТ-80 и РТ-90 для выключателей с ЭМО, типа РТМ и РТВ для выключателей с пружинным приводом.

Токовая отсечка обеспечивает защиту от токов КЗ.

Наиболее распространенные схемы, сочетающие ТО и МТЗ. Поэтому, принимаем для расчёта сети ВН трансформатора релейную защиту от токов КЗ и перегрузки - токовую отсечку (участок от выключателя Q до точки К1) и максимальную токовую защиту (далее до Т).

Так как, выбранный ранее высоковольтный выключатель ВММ - 10 - 400 - 10У2 имеет пружинный привод, то к установке принимаем реле прямого действия типа РТМ и РТВ. Для защиты от междуфазных КЗ выбираем схему соединения ТТ и вторичной нагрузки (реле) - на разность токов двух фаз. Далее выбираем токовые трансформаторы.

Для этого определяем номинальный ток в линии ВН по формуле:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3}U} \quad (3.17)$$

где S – номинальная мощность силового трансформатора, кВА;

U – номинальное напряжение питания трансформатора, кВА.

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{2500}{1.73 \cdot 10} = 144.5 \text{ А}$$

Из таблицы (14.1) по полученному значению I_n выбираем трансформатор тока типа: ТЛМ-6 с $I_{1H} = 1500$, $I_{2H} = 5$. определяем номинальный коэффициент трансформации

$$K_T = \frac{I_{1H}}{I_{2H}} = 1500/5 = 300$$

Выбираем реле ТО типа РТМ и определяем ток его срабатывания по формуле:

$$I_{CP(TO)} = \frac{K_H \cdot K_{CX}}{K_T} \cdot I_{K.макс.} \quad (3.18)$$

где $K_H = 2$ – коэффициент надежности отстройки, учитывающий погрешности реле и ТТ

$K_{CX} = 1,73$ – коэффициент схемы включения реле

$I_{K.макс.}$ – ток короткого замыкания (максимальный) в линии

$I_{K.макс.} = I_{K.}^{(3)} = 7,6 \text{ кА}$

тогда:
$$I_{CP(TO)} = \frac{2 \cdot 1,73}{300} * 7600 = 76 \text{ А}$$

По полученному значению тока срабатывания из таблицы (14.2) выбираем реле типа РТМ-IV с каталожным значением $I_{CP.K} = 100 \text{ А}$

$$\text{Условие; } I_{CP.K} \geq I_{CP}$$

$$100 \geq 76$$

Определяем коэффициент чувствительности защиты $K_{ч(ТО)}$ и надежность срабатывания ТО при наименьшем (2-фазном) токе КЗ ($I_{K31}^{(2)}$) в начале линии по формуле:

$$K_{ч(ТО)} = \frac{I_{K.мин.}}{I_{с.з.}} = \frac{I_{K.мин.}}{I_{CP} \cdot I_{CP.K}} = \frac{I_{K31}^{(2)}}{I_{CP} \cdot K_T} = \frac{35800}{76 \cdot 300} = 1,5 \quad (3.19)$$

где $I_{K.мин.} = I_{K1}^{(2)} = 6,4 \text{ кА}$ – минимальный ток КЗ в начале защищаемого участка, А;

$I_{с.з.}$ – ток срабатывания защиты, А;

$$I_{с.з.} = I_{CP} \times I_{CP.K} \quad (3.20)$$

$I_{CP} = 76 \text{ А}$ – ток срабатывания реле, А;

тогда,

$$K_{ч(ТО)} = 35800 / 76 \cdot 300 = 1,5$$

ТО надежно срабатывает, если

$$K_{ч(ТО)} \geq 1,2 \dots 1,5$$

$$1,5 \geq 1,2 \dots 1,5$$

Условие надежности выполнено, следовательно, ТО работает надежно.

Аналогичным образом выбираем реле МТЗ и определяем ток его срабатывания по формуле:

$$I_{CP.(MT3)} = \frac{K_{зап.} \cdot K_H \cdot K_{CX}}{K_B \cdot K_T} \times I_{нб} \quad (3.21)$$

где $K_{зап.} = 2,5$ – коэффициент запуска ЭД

$K_B = 0,8$ – коэффициент возврата реле

$I_{нб} = 144,5 \text{ А}$ – наибольший ток нагрузки защищаемого участка, (обычно $I_{нб} = I_N$ номинальный ток нагрузки на ВН).

Тогда

$$I_{CP.(MT3)} = \frac{2,5 \cdot 1,73 \cdot 2}{0,8 \cdot 300} * 144,5 = 5,2 \text{ А}$$

По полученному значению тока срабатывания выбираем реле типа ИТ-81/1(тб 14.2) с каталожным значением тока $I_{CP.K} = 4-10 \text{ А}$

$$\text{Условие } I_{CP.K} \geq I_{CP} \text{ т.е.}$$

$$6 > 5,2 \text{ выполняется.}$$

Определяем коэффициент чувствительности защиты $K_{ч(MT3)}$ на остальном участке при $I_{K4}^{(2)}$ (в конце линии)

$$I_{K4}^{(2)} = 35,8$$

$$K_{ч(MT3)} = \frac{35800}{300 \cdot 5,2} = 22,9$$

МТЗ надёжно работает ,т.к условие надёжности $K_{ч(MT3)} \geq 1,2$

выполнено. ($22,9 > 1,2$)

Пример

Дано:

Линия ЭСН цехового трансформатора, имеющая на ВН силовой выключатель с пружинным приводом

Тип трансформатора ТСЗ-250/10/0,4

$$I_{к2}^{(3)} = 0,3 \text{ кА}$$

$$I_{к1}^{(3)} = 1,8 \text{ кА}$$

Защита от междуфазных КЗ

Требуется:

- составить схему РЗ;
- рассчитать и выбрать элементы РЗ от токов КЗ и перегрузки;
- проверить надежность РЗ.

Решение:

1. Составляется схема РЗ (рис. 1.12.2) и наносятся данные.

- Так как требуется РЗ от токов КЗ и перегрузки, то принимается ТО (участок сразу после Q до точки $K1$) и МТЗ (далее до T) на ВН.
- Так как выключатель силовой (Q) имеет пружинный привод, к установке принимается реле прямого действия типа РТМ и РТВ.
- Для защиты от междуфазных КЗ принимается схема соединения ТТ и вторичной нагрузки (реле) — на разность токов двух фаз.
- Так как сеть с ИН на ВН, то замыкание одной фазы на землю (или повреждение изоляции) контролирует УКИ с включением сигнализации при нарушении.

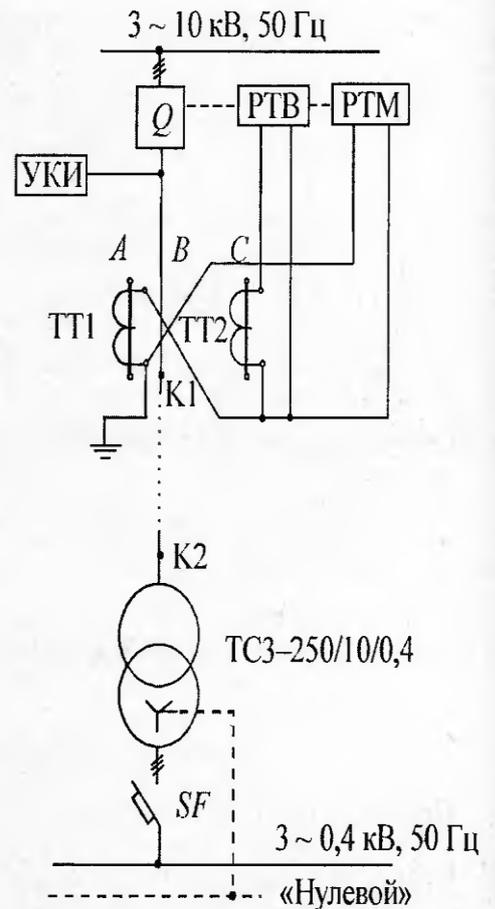


Рис. 1.12.2. Схема РЗ

- На НН сеть с ГЗН, 4-проводная, поэтому все виды защит обеспечивает автомат SF.
- Так как трансформатор «сухой», то ГЗ не устанавливается.

2. Выбираются токовые трансформаторы.

- Определяется ток в линии ЭСН

$$I_1 = \frac{S_T}{\sqrt{3}V_1} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,5 \text{ А.}$$

- Так как в линии ЭСН нет ЭД, то отстройка от пусковых токов не требуется. Принимаются к установке в РЗ трансформаторы тока типа ТЛ-10 с $I_1 = 50 \text{ А}$ и $I_2 = 5 \text{ А}$ в количестве 2 штук по таблице 1.12.1.

- Определяется коэффициент трансформации

$$K_T = \frac{I_1}{I_2} = \frac{50}{5} = 10.$$

3. Выбирается реле ТО типа РТМ.

- Определяется ток срабатывания реле

$$I_{\text{ср.р(то)}} = \frac{K_n K_{\text{сх}}}{K_T} I_{\text{к2.мин}} = \frac{1,8 \cdot 1,73}{10} \cdot 0,3 \cdot 10^3 = 93,4 \text{ А.}$$

По таблице 1.12.3 $K_{\text{н(то)}} = 1,8$.

$I_{\text{к.макс}}^{(3)}$ будет при 3-фазном токе КЗ, тогда $K_{\text{сх}} = 1,73$.

- По таблице 1.12.2 выбирается РТМ-IV, $I_{\text{ср}} = 100 \text{ А}$;
- Определяется $K_{\text{ч(то)}}$ и надежность срабатывания ТО при наименьшем (2-фазном) токе КЗ в начале линии ЭСН:

$$K_{\text{ч(то)}} = \frac{I_{\text{к1}}^{(2)}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{0,87 \cdot 1800}{10 \cdot 100} = 1,57;$$

$$I_{\text{к.мин}} = I_{\text{к}}^{(2)} = 0,87 I_{\text{к}}^{(3)};$$

$$I_{\text{с.з}} = K_T I_{\text{ср}}.$$

Условие надежности $K_{\text{ч}} \geq 1,2$ выполнено, следовательно, ТО срабатывает надежно.

4. Выбирается реле МТЗ типа РТВ.

- Определяется ток срабатывания реле

$$I_{\text{ср.р(мтз)}} \geq \frac{K_{\text{зап}} K_n K_{\text{сх}}}{K_{\text{в}} K_T} I_{\text{нб}} = \frac{1 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}}{0,8 \cdot 10} \cdot 14,5 = 3,9 \text{ А.}$$

$$I_{\text{ср.р}} \geq \frac{I_{\text{нб}}}{K_T}; \quad K_{\text{зап}} = 1 \text{ (нет ЭД)}; \quad K_{\text{сх}} = 1,25;$$

$$I_{\text{нб}} = 14,5 \text{ А.}$$

- По таблице 1.12.2 выбирается РТВ-I, $I_{\text{ср}} = 5 \text{ А}$.
- Определяется $K_{\text{ч(мтз)}}$ и надежность срабатывания МТЗ на остальном участке при $I_{\text{к2}}^{(2)}$ (в конце линии):

$$K_{\text{ч(мтз)}} = \frac{I_{\text{к.мин}}}{I_{\text{с.з}}} = \frac{0,87 \cdot 300}{5 \cdot 10} = 5,2.$$

Условие надежности выполнено ($K_{\text{ч(мтз)}} \geq 1,2$).

5. Составляется схема зон действия РЗ (рис. 1.12.3).

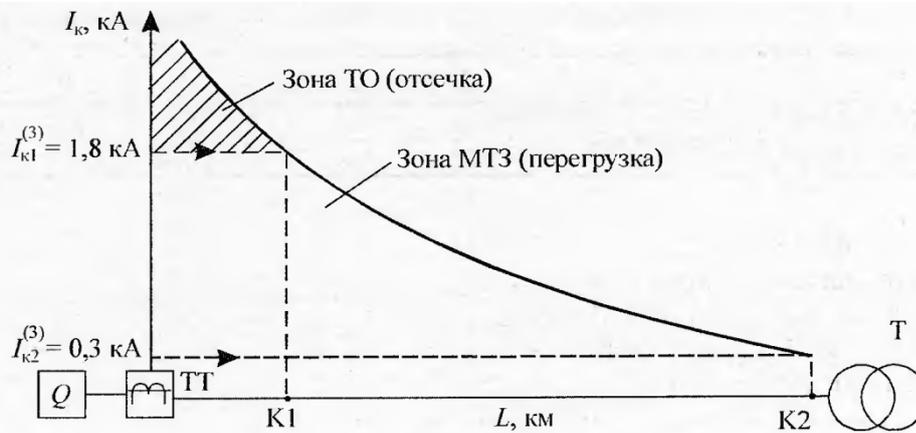


Рис. 1.12.3. Зоны действия РЗ

Ответ: РЗ состоит из:

2 × ТЛ-10, $I_1 = 50 \text{ A}$, $I_2 = 5 \text{ A}$;

РТМ-IV, $I_{\text{ср}} = 100 \text{ A}$;

РТВ-I, $I_{\text{ср}} = 5 \text{ A}$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Задание 1

Составить схему релейной защиты.

Рассчитать и выбрать элементы релейной защиты от КЗ и перегрузки.

3 Проверить надежность релейной защиты.

Вариант соответствует номеру студента по списку

Исходные данные:

№ вар.	I кз. нл. кА	Iкз. кл. кА	Стр. кВА
1	1,8	0,3	250
2	1,9	0,2	250
3	2	0,4	400
4	3	0,5	400
5	2,5	0,23	180
6	3	0,34	630
7	4	0,45	1000
8	2	0,34	250
9	1,2	0,6	250
10	1,6	0,7	400
11	1,9	0,3	400
12	2,3	0,2	180
13	2,7	0,4	630
14	2,4	0,5	1000
15	2,5	0,23	250
16	3	0,34	250
17	4	0,45	400
18	2	0,34	400
19	1,2	0,6	180
20	1,6	0,7	630
21	1,9	0,3	1000
22	2,3	0,2	250
23	2,7	0,4	250
24	2,4	0,5	400
25	2,5	0,23	400

Задача 2

Произвести расчет релейной защиты трансформатора.

Исходные данные:

$$S_T = 2500 \text{ ВА} + K$$

$$K_{\text{зап}} = 2,5$$

$$K_{\text{в}} = 0,8$$

$$K_{\text{н}} = 2$$

$$K_{\text{сх}} = 1,73$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как выбирается реле МТЗ и определяется ток его срабатывания?
2. Назначение релейной защиты
3. Виды релейной защиты
4. В чем заключается алгоритм расчета релейной защиты трансформатора

Практическая работа №14 «РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ – научиться производить расчет заземляющего устройства.

Для выполнения работы необходимо **знать**:

– методику расчета заземляющего устройства

Для выполнения работы необходимо **уметь**:

– находить и использовать необходимую техническую информацию;

– производить расчет заземляющего устройства.

Выполнение данной работы способствует формированию профессиональных компетенций: ПК 1.1. Выполнить наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.2. Организовать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.3. Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования; ПК 1.4. Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования.

ВРЕМЯ ВЫПОЛНЕНИЯ: 90 минут

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Для защиты людей от поражения электрическим током при проникновении к токоведущим частям электрооборудования, случайно оказавшимся под напряжением, в установках 0.4 кВ и выше должно применяться защитное заземление. Согласно ПУЭ сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 4 Ом.

Заземляющее устройства (ЗУ) выполняются обычно в виде контура или ряда электродов, расположенных по периметру здания подстанции на расстоянии не менее 1 м от его стен. В качестве вертикальных заземлителей используют стальные уголки, трубы, прутки. В качестве горизонтальных заземлителей – стальные полосы и прутки, которые соединяются с горизонтальными в траншее на глубине 0.3 – 0.8 м с помощью электросварки.

Принимаем для проектируемого участка, находящегося в четвертой климатической зоне, совмещенное контурное заземляющее устройство. Вертикальный электрод – круглая сталь диаметром 16 мм. Длиной – $L = 5$ м. Горизонтальный – полоса стальная 40×4 мм. Грунт суглинок ($\rho = 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Глубина заложения горизонтальных электродов – 0,7 м. Исходя из габаритных размеров принятой в проекте КТП – 1600 -10/0.4, выбираю размеры заземляющего контура 5м×7м. с расстоянием между вертикальными электродами - 3м.

Определяем расчетное сопротивление одного вертикального электрода

$$r_{\text{в}} = 0,3gK_{\text{СЭЗ.В}}$$

где $g = 20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – удельное сопротивление грунта (тб 15.3)

$K_{\text{СЭЗ}} = 1.5$ - коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта.(тб 15.2)

$$r_{\text{в}} = 0.3 * 20 * 1.5 = 9 \text{ Ом}$$

Определяем предельное сопротивление совмещенных ЗУ подстанции отдельно для ВН и НН

$$R_{\text{З.В.}} \leq \frac{125}{I_{\text{З}}}$$

где $I_{\text{З}}$ - расчетный ток замыкания на землю А.

$$I_{\text{З}} = \frac{U_{\text{Н}}(35L_{\text{КЛ}} + L_{\text{ВЛ}})}{350}$$

где $U_{\text{Н}}$ - номинально линейное напряжение сети кВ.

L_K, L_{BL} - длина кабельных и воздушных электрически связанных линии.

$$\begin{aligned} \text{Тогда} \quad I_3 &= \frac{U_n(35 \cdot L_{kl} + l_{BL})}{350} = \frac{10 \cdot (35 \cdot 2,8)}{350} = 2,8 \text{ А} \\ R_{3y} &= \frac{125}{2,8} = 44,6 \text{ Ом} \end{aligned}$$

При совмещении ЗУ различных напряжений (ВН и НН) принимается допустимое сопротивление ЗУ $R_{3y. доп}$ наименьшее из требуемых значений. Принимаем для расчета $R_{3y. доп} = 45 \text{ Ом}$

Определяем количество вертикальных электродов:
Без учета экранирования:

$$N_{BP} = \frac{r_B}{R_{3y}} = \frac{9}{44,6} = 0,2 \text{ принимаем } 1 \text{ шт.}$$

С учетом экранирования

$$N_{BP} = \frac{1}{0,69} = 1,4 \text{ принимаем } 2 \text{ шт.}$$

где $n_g = 0,69$ – коэффициент использования электродов.

По таб 15.5 после определения количества вертикальных электродов производим размещение ЗУ на плане и уточняем расстояние между электродами с учетом их равномерного расположения электродов n_1 и n_2 по табл. $n_1 = 0,69$, $n_2 = 0,45$.

Далее с учетом уточнений определяем сопротивления вертикальных и горизонтальных электродов по формулам:

$$\begin{aligned} R_B &= \frac{r_B}{N_B \times n_B} \\ R_r &= \frac{0,4}{L_H \times n_r} \times g \times K_{CE3.M.} \cdot I_g \frac{2L_n^2}{b \times t} \end{aligned}$$

где L_n - длина полосы

b – ширина полосы (для круглого горизонтального заземления $b = 4$)

t – глубина заложения ,м.

Тогда уточненные значения сопротивлений электродов будут:

$$\begin{aligned} R_B &= \frac{9}{1,4 \cdot 0,69} = 9,3 \text{ Ом} \\ R_p &= \frac{0,4}{36 \cdot 0,45} \cdot 20 \cdot 1,5 \cdot \frac{2 \cdot 1296}{4 \cdot 0,5} = 934,56 \text{ Ом} \end{aligned}$$

В заключении определяем фактическое сопротивление ЗУ

$$R_{3y.ф} = \frac{R_B \cdot R_r}{R_B + R_r} = \frac{9,3 \cdot 934,56}{9,3 + 934,56} = 9,2 \text{ Ом}$$

Полученное значение $R_{3y.ф}$. сравниваем с определением ранее допустимым сопротивлением $R_{3y. доп}$.

Должно выполняться условие :

$$\begin{aligned} R_{3y. доп} &\geq R_{3y.ф} \\ 45 &\geq 9,2 \end{aligned}$$

Условие выполняется, следовательно, заземляющее устройство эффективно.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Задача 1

Произвести расчет заземляющего устройства.

Исходные данные:

$$g = 20 \text{ Ом} \times \text{м}$$

$\rho = 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

$n_1 = 0,69$, $n_2 = 0,45$. $K_{СЗЗ} = 1,5$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение, виды заземляющих устройств
2. Каким должно быть предельное сопротивление заземляющего устройства ?
3. В качестве вертикальных заземлителей используются...
4. . В качестве горизонтальных заземлителей используются...
5. Совмещенное контурное заземляющее устройство (назначение, принцип действия)
6. Общий порядок расчета ЗУ

ЛИТЕРАТУРА

Основные источники

1. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: учебное пособие/ Э.А. Киреева. — Москва: КноРус, 2020. — 368 с.— ISBN 978-5-406-05089-7. Электронный ресурс: электронно-библиотечная система www.book.ru
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей в вопросах и ответах : учебное пособие/ .С. Бодрухина, авт.-сост. — Москва : КноРус, 2019. — 158 с. — ISBN 978-5-406-02635-9. Электронный ресурс: электронно-библиотечная система www.book.ru

Интернет-ресурсы

1. Электронная библиотека. <http://bibliofond.ru>
2. Атлас профессий <http://atlas.rosminzdrav.ru>
3. Школа для электрика <http://electricalschool.info>