

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ЭЛЕКТРОАБЖЕНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

сборник учебно-методических материалов

для направления подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Благовещенск, 2017

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Амурского государственного
университета*

Составители: Мясоедов Ю.В., Мясоедова Л.А., Подгурская И.Г.

Электроснабжение специальных объектов: сборник учебно- методических материалов для
направления подготовки 13.03.02. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017.

© Амурский государственный университет, 2017

© Кафедра энергетики, 2017

© Мясоедов Ю.В., Мясоедова Л.А., Подгурская И.Г., составление

Содержание

1 КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	3
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ (УКАЗАНИЯ) К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	21
3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.....	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	108

1 КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Лекционный курс по дисциплине - направлен на формирование у студентов специальных знаний в области систем электроснабжения промышленных предприятий. Акцент делается на низковольтное электроснабжение и специальные вопросы электропривода.

Целью данного раздела является оказание методической помощи в оптимальном распределении теоретического материала между лекциями, а также между аудиторными занятиями и самостоятельной работой по изучению дисциплины. Кроме того, будет осуществлена систематизация излагаемого материала. Целью лекционного курса является изучение принципов построения цеховых электрических сетей, формирование компетентного подхода к проектированию схем электроснабжения промпредприятий, анализ вопросов электроснабжения в эксплуатации, глубокое изучение на основе системного анализа специальных глав электроснабжения, наиболее актуальных в настоящее время. Лекцию нужно строить таким образом, чтобы осуществлять сквозную подготовку студентов, активизировать работу аудитории, поддерживать интерес к излагаемому материалу, развивать инженерное мышление у студентов. Методически лекция должна быть направлена на усвоение студентами излагаемого материала и меть эмоциональную окраску. Материал целесообразно излагать в доступной форме, приводя примеры из реальной жизни как в части эксплуатации, так и проектирования или развития систем, выделяя при этом наиболее насущные проблемы по рассматриваемой тематике общероссийской и региона.

Поставив задачи, которые будут решаться на лекции, преподаватель должен методически подвести аудиторию к их решению, играя при этом роль лидера. Тем самым у студентов развиваются способности логически мыслить и генерировать идеи. Для максимального усвоения материала целесообразно задействовать зрительную, слуховую и моторную память студентов. Для каждой лекции должна быть подготовлена презентация, включающая название лекции, цель и задачи, решаемые на лекции, план лекции, основные теоретические материалы, содержащие математические выкладки, рисунки, схемы, выводы. Презентацию не нужно загромождать текстом, справочным материалом. В ходе лекции необходимо, опираясь на физическую сущность рассматриваемой задачи или процесса, показать основные теоретические выкладки и довести теоретический материал до инженерных решений и их технической реализации, показать область их применения.

Целесообразно, в процессе лекции использовать передовые образовательные технологии, например, методы активизации обучения, информационные технологии. Технические средства, используемые на лекции: медиапроектор, экран, ноутбук, проектоскоп.

Предлагается следующая структура построения лекции:

- тема;
- цель и задачи;
- план;
- фронтальный блиц-опрос (3-5 минут);
- вступление;
- изложение основного материала;
- закрепление;
- разделы, выносимые на самостоятельную проработку;
- выводы.

Блиц-опрос должен периодически чередоваться с самостоятельной работой (10-15 минут), проводимой в конце лекции.

При выдаче задания на самостоятельную проработку необходимо назвать учебники предложить найти дополнительные источники, в т.ч. и электронные, помимо указанных в рабочей программе.

Выводы должны быть краткими, но емкими и содержать основную мысль, которую лектор хотел донести до аудитории.

Введение.

Структура и параметры низковольтного электроснабжения.

Структурно низковольтные системы электроснабжения состоят из шин РУ НН цеховых трансформаторных подстанций, как правило, комплектных (КТП), электрической проводки, распределительных шкафов, щитов, силовых пунктов, электропроводки, соединяющей их с электроприводом электроприемника. Параметры системы электроснабжения делятся на параметры схемы и параметры режима.

Вводятся новые понятия.

Распределительный пункт напряжением до 1 кВ называют силовым пунктом.

Распределительным щитом называют распределительное устройство до 1 кВ, предназначенное для управления линиями сети и их защиты.

Станция управления – комплектное устройство до 1 кВ, предназначенное для дистанционного управления электроустановками или их частями с автоматизированным выполнением функций управления.

Конструктивно станция управления представляет собой блок, панель, шкаф, щит.

Блок управления – станция управления, все элементы которой монтируют на одном каркасе.

Щит управления – сборка из нескольких панелей или блоков на объемном каркасе.

Шкаф управления – станция управления, защищенная со всех сторон, т.о., что при закрытых дверях и крышках исключается доступ к токоведущим частям.

Особенности расчета электрических нагрузок в цеховых сетях.

В цеховых сетях используется метод определения электрических нагрузок с помощью коэффициента расчетной нагрузки. Однако при использовании данного метода деления ЭП на характерные категории осуществляется по способу присоединения к электрической сети, а также использование других коэффициентов расчетной нагрузки. Отсюда, прежде чем считать низковольтную нагрузку необходимо иметь вариант схемы низковольтной сети.

Далее приводится характеристика помещений по условиям среды и дается их классификация.

Общие принципы построения схем цеховых сетей. Классификация цеховых сетей.

Основным назначением сети напряжением до 1 кВ является распределение электроэнергии внутри цехов и непосредственное питание ЭП.

Общие принципы построения цеховой сети:

- сокращение длины;
- универсальность;
- гибкость;
- принцип равной надежности;
- исключение перегрева проводов;
- простота схем и конструкций.

Электрические сети до 1 кВ различаются по конструкции применяемых проводников, способами их изоляции и прокладки.

По способам изоляции сети делятся на две группы: неизолированные и изолированные проводники.

Сети, выполненные изолированными проводниками, называют электропроводами.

Классификация сетей по конструктивным группам:

Неизолированные проводники делятся на ВЛ и шинопроводы, которые делятся на открытые, закрытые, защищенные и пыленепроницаемые.

Изолированные провода делятся на кабельные линии и электропроводки.

Кабельные линии делятся на открытые, в кабельных сооружениях, скрытые.

Электропроводки разделяют на открытые внутри помещений, наружные, скрытые внутри зданий.

Даются их характеристика.

ВЛ до 1 кВ на промышленных предприятиях применяются в основном для наружного освещения.

Наибольшее распространение получили кабельные линии.

Схемы цеховых сетей.

При построении цеховых сетей применяют магистральные, радиальные и смешанные схемы. При построении схемы исходят из того, что надежность электроснабжения не должна уступать надежности работы технологического оборудования. Отсюда нет смысла питать один электродвигатель технологического агрегата по двум взаиморезервирующим линиям.

Магистральные схемы широко применяются для питания отдельных электроприемников одного технологического агрегата, а также для питания большого числа сравнительно мелких ЭП, не связанных единым технологическим процессом и распределенных относительно равномерно по площади цеха. Магистральные схемы позволяют оказаться от применения громоздкого и дорогого распределительного устройства или щита.

В этом случае возможно применение схем блок трансформатор-магистраль, к которой через автоматические выключатели подключают ответвления. Магистральную схему выполняют шинпроводами, в настоящее время используют модульные схемы.

Радиальные схемы характеризуются тем, что от КТП отходят линии, непосредственно питающие мощные ЭП или распределительные пункты, шкафы, от которых отдельными линиями запитаны более мелкие ЭП. Радиальные схемы применяют в тех случаях, когда в цехах установлены стационарно относительно мощные ЭП или ЭП настолько удалены, что магистраль становится нецелесообразной.

Достоинство радиальной схемы по сравнению с магистральной заключается в более высокой надежности и удобстве эксплуатации. Однако, они более дорогие.

В чистом виде магистральные и радиальные схемы применяются редко. Наибольшее распространение получили смешанные схемы, сочетающие фрагменты магистральных и радиальных схем.

Рассматриваются условия выбора той или иной схемы цеховой сети, исходя из условий окружающей среды.

В цеховой сети применяется напряжение 380 В или 660 В. Его выбор обусловлен напряжением ЭП.

Шинопроводы.

Назначение шинопроводов. Диапазон мощностей и длин, при которых их годно применять. Исполнения шинопроводов. Типы шинопроводов. Маркировка шинопроводов. Конструктивное исполнение.

По своему назначению шинопроводы делятся на магистральные переменного тока серии ШМА и постоянного тока – ШМАД. Они предназначены для присоединения к ним распределительных шинопроводов, силовых распределительных шкафов, щитов и отдельных мощных ЭП.

Распределительные шинопроводы серии ШРА для присоединения к ним ЭП, троллейные серии ШТА и ШТМ – для питания передвижных ЭП, осветительные серии ШОС – для питания светильников.

Выпускают магистральные шинопроводы марок ШМА-16, ШМА-73, ШМА- 68Н, ШМА-73П и др. Дается их характеристика и сравнительный анализ.

Распределительные шинопроводы марок ШРА-74, ШРА-73 В, ШРА-73, ШРМ-75 и др. используются в цеховых сетях. Проводится их сравнительный анализ.

Шинопроводы разных серий и типов комплектуются из отдельных секций различной конфигурации и назначения.

Секции могут быть прямые, угловые, вводные, ответвительные, компенсационные, переходные, Длины секций унифицированы и кратны 770 мм.

Троллейные шинопроводы серии ШТА выполняются с троллеями из алюминиевого сплава, серии ШТМ – с медными шинами.

Осветительные шинопроводы выпускаются серий ШОС-67, ШОС-73, ШОС-73А.

В качестве проводников используют медные и изолированные провода (ШОС-67), медные шины (ШОС-73) и алюминиевые шины (ШОС-73А).

Кабели низковольтные и провода.

Назначения кабеля, изоляция жил кабеля. Маркировка. Способы прокладки. Конструктивное исполнение. Электропроводки. Область применения. Маркировка проводов, способы прокладки.

При маркировке кабелей и проводов приняты следующие обозначения. Вначале маркировки указывается буква А, если жилы алюминиевые и отсутствует буква, если жилы медные. Аналогично бумажная изоляция для кабелей не обозначается, другие виды изоляции обозначаются: резиновая – Р, поливинилхлоридная – В, полиэтиленовая – П и т.д.

Оболочка кабеля маркируется так: С- свинец, А – алюминий, В – полихлорвинил, Н – найрит и т.д.

Если в марке кабеля стоит буква Г, то это значит, что оболочка или защитная броня являются голыми; если в марке провода стоит буква Г, то провод является гибким.

Бронированные кабели с ленточной броней имеют маркировку буквой Б, с проволочной броней – П.

Примеры марок кабелей: ААВГ, АВВГ, АВРГ, АВ, ААБ, АНРГ.

В марках проводов могут присутствовать буквы, характеризующие другие элементы конструкции: О – оплетка, Т – прокладка в трубах, П – плоский, Ф – металлическая фальцованная оболочка.

Примеры марок проводов: АПВ, АППВ, ПРП, АПРФ, ПРТО, АПРТО, АПРН.

Способы прокладки проводов: по несгораемым поверхностям, на роликах и изоляторах, в трубах и металлорукавах, в коробах и на лотках, на тросах.

Общее требование к электропроводке: обеспечение возможности смены проводов в условиях эксплуатации.

Электропроводки делятся на открытые, скрытые и наружные.

Коммутационные аппараты напряжением до 1 кВ.

Предохранители.

Предохранители применяются для защиты электроустановок от токов КЗ и защиты от перегрузок, если защищаемые элементы установка выбраны с запасом по пропускной способности, превышающим примерно на 25% номинальный ток плавкой вставки.

Наиболее распространенные предохранители:

ПР - предохранитель разборный;

НПН – насыпной предохранитель, неразборный;

ПН – предохранитель насыпной;

ПНР – 2 – предохранитель насыпной, разборный.

Шкала номинальных токов предохранителей 15...1000 А.

Наполнителем является кварцевый мелкозернистый песок.

Плавкие предохранители делят на инерционные и безинерционные.

Автоматические выключатели.

Автоматические выключатели (АВ) обеспечивают быструю и надежную защиту проводов и кабелей сети как от токов перегрузки, так и от токов КЗ. Кроме того, используются для управления при нечастых включениях и отключениях. Т.о., АВ совмещают в себе одновременно функции защиты и управления.

АВ имеют тепловые, электромагнитные или комбинированные расцепители.

Тепловые расцепители осуществляют защиту от токов перегрузки, электромагнитные – от токов КЗ.

Действие теплового расцепителя основано на использовании нагрева биметаллической пластинки. Электромагнитный расцепитель представляет собой электромагнит, которым воздействует на отключающий пружинный механизм, в результате чего АВ отключается.

Настройку расцепителя на заданный ток срабатывания называют уставкой тока.

АВ делятся на селективные и неселективные марки АВ: Э, ВА-62, АЗ710Б, АЗ740С, АЕ 20, АП 50Б, и т.д.

Контакторы.

Контактор – это аппарат для дистанционного действия. Предназначенный для частых включений и отключений под нагрузкой силовых цепей. Контакторы не защищают электрические цепи от ненормальных режимов. Они состоят из электромагнитной системы, обеспечивающей дистанционное управление и блок-контактов.

В основном применяют контакторы серии КТ с номинальными токами 63-1000 А в сетях переменного тока и серии КТП с номинальными токами 80-630 А в сетях постоянного тока.

Магнитные пускатели.

Магнитный пускатель – это трехполюсный контактор переменного тока, в котором дополнительно встроено два тепловых реле защиты, включенные последовательно в две фазы главной цепи двигателя.

Магнитные пускатели в основном предназначены для управления и защиты от перегрузки асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором мощностью до 75 кВт.

В настоящее время применяют магнитные пускатели серий ПМЛ и ПКЛ на номинальные рабочие токи от 4 до 200 А.

Комплектные распределительные устройства напряжением до 1 кВ.

К комплектным распределительным устройства (КРУ) напряжением до 1 кВ относят распределительные щиты, посты управления, силовые пункты, шкафы, ящики и щиты станций управления.

Распределительные щиты предназначены для приема и распределения электроэнергии переменного и постоянного тока. Их устанавливают на подстанциях, электростанциях и в машинных залах.

Щиты бывают открытого и закрытого исполнения, с двухсторонним и с односторонним самообслуживанием.

В качестве коммутационных и защитных аппаратов на щитах устанавливают рубильники, предохранители, блоки выключатель – предохранитель, выключатели.

Распределительные щиты ЩО-70 одностороннего обслуживания подробно изучаются на лабораторных работах.

Посты управления предназначены для управления электроприводами механизмов, связанных между собой общим технологическим процессом.

Пункты и шкафы силовые предназначены для распределения электрической энергии в промышленных установках, а также защиты от КЗ и перегрузок. Их назначение – распределять электроэнергию между группами ЭП или отдельными ЭП. В силовых сетях наиболее распространены шкафы серии ШР 11, ШРС на токи до 400 А, а также серии СПА-77, СПМ-75.

Пункты распределительные серии ПР изготавливают в виде шкафов утопленного, навесного, напольного исполнения со встроенными автоматическими выключателями.

Силовые распределительные устройства серии СУ-9500 со встроенными устройствами автоматики применяют в силовых установках переменного и постоянного тока.

Максимальная нагрузка на главные шины – 4000 А, нулевую шину – 2000 А.

Для подключения отдельных ЭП или отдельной трехфазной линии в цеховых сетях применяют ящики различных типов: ЯПП ВУ-4, ЯБ1-2, ЯРП-20 и др. Эти ящики предназначены для защиты и нечастых включений и отключений под нагрузкой.

Вводные распределительные устройства серии ВРУ предназначены для приема, распределения и учета электроэнергии и защиты отходящих линий. Их применяют в общественных зданиях, частично на промышленных предприятиях, в жилых домах.

В осветительных сетях применяют осветительные щитки: магистральные (ПР 9000, ПР22, ПР24 и др.), групповые (ЯРН, ЯРУ, ЯОУ, ОЩ, ОЩВ и др.)

Комплектные трансформаторные подстанции.

КТП по числу трансформаторов делят на однострансформаторные, двухтрансформаторные. Встречаются КТП с тремя трансформаторами. По роду установки КТП могут быть:

внутренней установки с масляными, сухими или заполненными негорючей жидкостью трансформаторами;

наружной установки (только с масляными трансформаторами);

смешанной установки с расположением РУ ВН и трансформатора снаружи, а РУ НН внутри помещения.

На промышленных предприятиях в основном используют КТП мощностью 160...2500кВ.

Применяют КТП внутренние, встроенные в здание или пристроенные к нему.

Цеховые КТП в большинстве случаев выполняются без сборных шин первичного напряжения как при радиальном, так и при магистральном питании. При питании КТП кабельными линиями обычно применяют глухое присоединение трансформатора. При магистральной схеме возможна установка выключателя нагрузки с предохранителем или разъединителя в комплекте с предохранителем.

КТП комплектуются из устройства высокого напряжения (УВН) трансформатора, РУНН. УВН – это шкаф высокого напряжения со схемами различного исполнения, с коммутационно-защитным аппаратом.

РУНН состоит из шкафов: вводного, линейного, секционного (этот только для двухтрансформаторных КТП). В шкафах РУНН устанавливают АВ или блоки предохранитель-выключатель.

КТП оснащены приборами учета и измерения.

Выбор сечений проводов, кабелей, шинопроводов.

Сечения проводников выбираются по длительно допустимому току и номинальному напряжению. При этом длительно допустимый ток должен быть больше или равен максимального расчетного тока. Для одиночного электроприемника максимальный расчетный ток равен номинальному току электроприемника, для группы электроприемников – расчетному току с учетом поправочных коэффициентов.

Выбранные сечения проверяются на механическую прочность, по допустимой потере напряжения, по условию соответствия выбранному аппарату: предохранителю или АВ, иными словами по согласованию выбранного сечения и уставки коммутационно-защитной аппаратуры.

Согласно ПУЭ защите от перегрузки токов КЗ подлежат сети внутри помещений, когда по условиям технологического процесса может возникнуть длительная перегрузка, во взрывоопасных помещениях.

Шинопроводы также проверяются на динамическое действие токов КЗ.

Рассматриваются алгоритмы выбора и проверки и приводятся примеры.

Выбор автоматических выключателей и предохранителей.

Автоматические выключатели выбираются по следующим условиям: по номинальному напряжению, по номинальному току расцепителя; по номинальному току автоматического выключателя; по току срабатывания расцепителя; по проверке тока срабатывания расцепителя на отключение однофазного тока КЗ; по согласованию с выбранным сечением проводника; по динамической стойкости к токам трехфазного КЗ; по отключающей способности выключателя.

Предохранители выбираются по следующим условиям: по номинальному напряжению; по номинальному току плавкой ставки, исходя из длительного максимального тока линии и пускового (или пикового) тока при защите ответвления к одиночному электродвигателю с нечастыми пусками, при защите ответвления, идущего к одиночному двигателю с частыми

пусками, при защите линии, питающей силовую или смешанную нагрузку; по номинальному току предохранителя.

Рассматриваются алгоритмы выбора предохранителей и примеры.

Расчет трехфазных токов короткого замыкания в сетях до 1 кВ.

Особенности расчета токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ:

- учет активных сопротивлений элементов цепи КЗ;
- учет сопротивлений первичных обмоток ТТ, токовых катушек (расцепителей) АВ, контактов АВ, различных контактных соединений;
- учет дуги в месте КЗ;
- периодическая составляющая тока КЗ равна установившемуся значению.

Расчетная точка трехфазного КЗ в установках напряжением до 1 кВ – непосредственно за автоматическим выключателем или предохранителем.

Далее показывается как определяются активные и индуктивные сопротивления всех элементов цепи КЗ.

Суммарное результирующее сопротивление цепи КЗ равно сумме сопротивлений ее элементов как для активных, так и реактивных сопротивлений.

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ равно отношению среднего номинального напряжения к $\sqrt{3}$ суммарного результирующего полного сопротивления цепи КЗ.

Токи КЗ от асинхронных двигателей, присоединенных непосредственно к месту КЗ, учитываются только при определении ударного тока.

Рассматривается подробный алгоритм расчета тока трехфазного КЗ и пример расчета.

Расчет однофазных токов короткого замыкания в сетях напряжением до 1 кВ.

При расчете однофазного тока КЗ определяются сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Порядок расчета.

1. Составляется схема замещения цепи однофазного КЗ, в которую входят сопротивления следующих элементов: фазного провода, переходного сопротивления в месте КЗ, сопротивления четвертого (обратного) провода с подключенными ему заземляющими проводниками и сопротивления растекания заземления нейтрали питающего трансформатора.

2. Определяются активные и реактивные сопротивления прямой, обратной, нулевой последовательности элементов цепи КЗ: системы, силового трансформатора, шин КТП, проводников, расцепителей автоматических выключателей, контактов АВ, переходное сопротивление дуги.

3. Определяется значение периодической составляющей тока однофазного КЗ как отношение $\sqrt{3}I_{ном}$ к суммарному полному сопротивлению прямой, обратной и нулевой последовательности рассматриваемой цепи.

Приводится пример расчета.

Распределение мощности низковольтных батарей конденсаторов (НБК) в цеховой сети.

Для каждой цеховой КТП необходимо рассматривать возможность распределения мощности НБК в ее сети. Критерий целесообразности такого распределения – дополнительные снижения приведенных затрат с учетом технических возможностей подключения отдельных батарей.

Если распределительная сеть выполнена только КЛ, ККУ любой мощности рекомендуется присоединять непосредственно к шинам цеховой ПС. При питании от одного силового трансформатора более двух магистральных шинопроводов (ШП) к каждому из них присоединяется только по одной НБК. Общая расчетная мощность батарей $Q_{нк}$ распределяется между ШП пропорционально их суммарной реактивной нагрузке.

ККУ единичной мощностью до 400 квар подключается к сети без дополнительной установки отключающего аппарата (ввиду установки последнего в комплекте ККУ), а при мощности более 400 квар через отключающий аппарат с выполнением требований ПУЭ.

При мощности ККУ более 400 квар рекомендуется их подключать к шинам цеховой ПС с использованием соответствующего АВ ПС.

На одиночном магистральном шинопровode следует предусматривать установку не более двух близких по мощности ККУ.

Если основные реактивные нагрузки ШП присоединены во второй его половине, следует устанавливать только одну НБК.

Далее рассматриваются условия, определяющие точку подключения одной БК и точки подключения двух БК к шинопроводу.

Факторы, влияющие на выбор схем и конфигураций сетей.

Выбор схем и конструкций низковольтной сети на основе изучения технологии производства, условий окружающей среды, степени возгораемости конфигураций зданий и сооружений и др. факторов.

Расположение оборудования на плане цеха, степень его ответственности, номинальное напряжение и мощность ЭП, расстояние от точки питания до потребителя, характер нагрузки и ее распределение по площади цеха являются определяющими факторами при выборе схемы сети.

Выбор конструкции сетей осуществляется из условий окружающей среды помещений, где размещается технологическое и связанное с ним электротехническое оборудование. К этим условиям относятся температура воздуха, влажность, наличие агрессивных газов или пыли, возможность возникновения условия взрыво- или пожарной безопасности.

По температуре воздуха помещения делят на нормальные и жаркие.

По влажности среды помещения распределяются по сухие, влажные, сырые и особо сырые.

Также выделяют пыльные среды, химически активные среды, пожароопасные и взрывоопасные.

Существует шесть степеней защиты от прикосновения к токоведущим частям и восемь степеней защиты от попадания воды.

В пожаро- и взрывоопасных помещениях все электротехническое оборудования должно быть специального (взрывозащищенного) исполнения. Вообще, если возможно другое решение, в таких помещениях располагать электрооборудование нецелесообразно.

В условиях неблагоприятной среды применять магистральные схемы питания нежелательно. Для снижения количества оборудования специального исполнения в таких цехах наибольшее распространение получили радиальные схемы питания, при которых все коммутационные аппараты располагаются в отдельных помещениях, изолированных от агрессивных или взрывоопасных сред.

Допустимые перегрузки ВЛ и КЛ.

Под перегрузкой питающих линий понимают работу их при нагрузках, превышающих номинальную. Работа электрооборудования, находящегося в цепи питающей линии, в условиях перегрузки может иметь место как в послеаварийных, так и эксплуатационных режимах.

Необоснованный отказ от перегрузки ВЛ приводит к необходимости строительства новых линий.

Под допустимой нагрузкой по условия нагрева проводов понимают токовую нагрузку, повышающую температуру провода при полном безветрии и температуре окружающей среды 25-75°.

Допустимый ток определяют из условия теплового равновесия, при котором количество тепла, выделяемого в проводе протекающим током, равно количеству тепла, отдаваемого проводом в окружающую среду.

Рассматривается методика определения длительно допустимого тока по проводу и условия ее применения.

Перегрузка ВЛ имеет место в осенне-зимний период.

Допустимые длительные токовые нагрузки на кабель напряжением до 35 кВ принимают в соответствии с допустимыми температурами нагрева жил кабелей.

Рассматриваются возможности перегрузки кабельных линий напряжением до 10 кВ включительно в кратковременных пределах. Перегрузка КЛ напряжением выше 20 кВ не допускается.

Допустимые перегрузки силовых трансформаторов.

Срок службы трансформаторов определяется старением его изоляции, которое резко возрастает с повышением температуры обмотки. Допустимые перегрузки трансформаторов определяются температурным режимом.

Предельно допустимые значения аварийных нагрузок силовых трансформаторов нормируются ГОСТ 14209-85 (до 100 МВА включительно) в зависимости от их системы охлаждения, длительности перегрузок, характера нагрузок, температуры окружающей среды и т.д. Основным ограничением согласно ГОСТ являются предельно допустимые температуры обмоток силового трансформатора в наиболее нагретой точке $\nu_{об}$ и масла ν_m . При температурах, превышающих предельно допустимые, в силовом трансформаторе могут произойти необратимые изменения, препятствующие его дальнейшей эксплуатации.

Согласно ГОСТ предельно допустимые температуры масла и обмоток соответственно равны: $\nu_m = 115^0 C$; $\nu_{об} = 140^0 C$ при напряжении больше 110 кВ; $\nu_{об} = 160^0 C$ при напряжении до 110 кВ включительно.

Для проверки температурного режима силового трансформатора и выборе его мощности необходимо построить графики нагрузки его обмоток с учетом средств компенсации реактивной мощности в нормальном, ремонтных и послеаварийных режимах.

Алгоритм проверки температурного режима

1. Построить из реального графика электрических нагрузок (ГЭН) двухступенчатый ГЭН (зимний и летний).
2. Сравнить продолжительность аварийной нагрузки по ГЭН с постоянной времени нагрева $T_{ПН}$, зависящей от системы охлаждения и мощности трансформатора.

Система охлаждения	Мощность силового трансформатора	Постоянная времени нагрева $T_{ПН}$
М	$S_{ТНОМ} \geq 1,6 МВА$	$T_{ПН} = 3,5$ ч
Д	$S_{ТНОМ} \geq 40 МВА$	
ДЦ и Ц	$S_{ТНОМ} \geq 125 МВА$	
Все остальные случаи		$T_{ПН} = 2,5$ ч

Если время аварийной перегрузки менее постоянной времени нагрева, т.е.

$$T_{ав} \leq T_{ПН},$$

то изоляция работает в нормальном режиме и дальнейшая проверка не требуется.

3. Если $T_{ав} > T_{ПН}$, то проводится следующая проверка.

- а) Определяется температура нагрева масла ν_m :

$$\nu_m = \theta_{мНОМ} \left(\frac{1 + dK^2}{1 + d} \right)^m + \nu_{о.э},$$

где $\theta_{мНОМ}$ – превышение температуры масла в верхних слоях над температурой охлаждающей среды при номинальных условиях: для систем охлаждения М и Д – $\theta_{мНОМ} = 55^0 C$, ДЦ и Ц – $\theta_{мНОМ} = 40^0 C$;

$d = \frac{\Delta P_{кНОМ}}{\Delta P_x}$ – отношение потерь короткого замыкания (КЗ) к потерям холостого хода (ХХ);

K – коэффициент аварийной перегрузки силового трансформатора, определяемый по ГЭН;

m – коэффициент, принимаемый по рекомендациям МЭК ($m = 0,9$ для систем охлаждения М и Д, $m = 1,0$ для систем охлаждения ДЦ и Ц);

$v_{о.э}$ – эквивалентная зимняя температура, принимаемая по справочным данным.

б) Рассчитанная v_m сравнивается с допустимой, где $v_{мдоп} = 115^0 C$. Должно выполняться условие:

$$v_m \leq v_{мдоп}.$$

4. Определяется температура обмотки $v_{об}$:

$$v_{об} = v_m + \Delta\theta_{обНОМ} K^{2n},$$

где $\Delta\theta_{обНОМ}$ – суммарный перепад температуры между наиболее нагретой точкой изоляции и верхними слоями масла при номинальных условиях ($\Delta\theta_{обНОМ} = 23^0 C$ для систем охлаждения М и Д, $\Delta\theta_{обНОМ} = 38^0 C$ для систем охлаждения ДЦ и Ц)

n – коэффициент, принимаемый по рекомендациям МЭК ($n=0,8$ для систем охлаждения М и Д, $n=0,9$ для систем охлаждения ДЦ и Ц).

Расчетная температура $v_{об}$ сравнивается с предельно допустимой.

Если $v_{об} \leq v_{обдоп}$, то дальнейший расчет не требуется, работа трансформатора допустима.

Если $v_{об} > v_{обдоп}$, то определить допустимое значение коэффициента аварийной перегрузки, при котором $v_{об}$ не превысит предельно допустимое значение.

5. Расчетный срок эксплуатации трансформаторов 25 лет. При загрузках его выше номинальной мощности повышается износ изоляции. Следовательно, необходима проверка допустимости аварийной перегрузки силового трансформатора с учетом расчетного срока службы трансформатора.

а) Определить относительный износ изоляции обмоток силового трансформатора в послеаварийном режиме.

Для этого составляется таблица изменения v_m и $v_{об}$ в соответствии с зимним ГЭН в послеаварийном режиме.

Определяется установившееся начальное превышение температуры масла в верхних слоях над температурой охлаждающей среды, соответствующее коэффициентам загрузки и аварийной перегрузки силового трансформатора.

Затем рассчитывается изменение превышения температуры масла при изменении нагрузки трансформатора $S_{max} / S_{НОМ}$

$$\theta_m = \theta_1 + (\theta_2 - \theta_1) \left(1 - e^{-\Delta t / T_{ПН}} \right),$$

где Δt - интервал времени по ГЭН (ступень).

При этом θ_1 - превышение температуры масла при предыдущем значении K – коэффициента загрузки силового трансформатора, θ_2 - при последующем.

Определяются расчетные значения v_m :

$$v_m = \theta_m + v_{о.э} \text{ и } v_{об}.$$

Заполняются соответствующие строки таблицы 1.

Таблица 1. Температурный режим и износ изоляции

Часы суток	0 (24)	4	8	12	16	20
Часы I ступени, ч						
Часы II ступени, ч						
$\nu_m = \theta_m + \nu_{o.э}, ^\circ\text{C}$						
$\nu_{об}, ^\circ\text{C}$						
$L, \text{о.е. (относительный износ изоляции)}$						

Итого: L_{cp}

6. Определяется изменение относительного износа L изоляции силового трансформатора в послеаварийном режиме в течение суток по закону Аррениуса

$$L = 2^{(\nu_{об} - 98)/6}.$$

Результаты расчета заносятся в таблицу 1.

Определяется среднесуточный износ L_{cp} изоляции обмоток трансформатора в послеаварийном режиме

$$L_{cp} = \frac{1}{24} \int_0^{24} L dt = \frac{M}{24},$$

где M – суммарная площадь графика изменения L по часам суток.

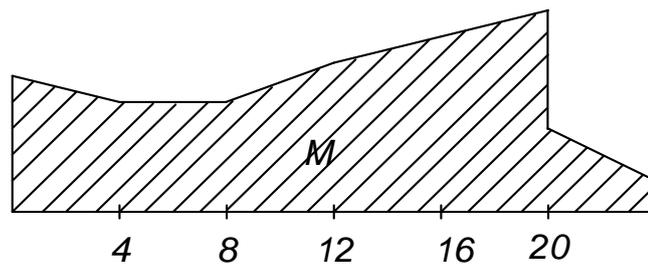


Рис. Изменение износа изоляции трансформатора в течение суток

7. Определяется максимальный фактический износ изоляции обмоток силового трансформатора, H_{max} за его расчетный срок службы при аварийном простое другого силового трансформатора

$$H_{max} = \frac{L_{cp} T_B}{24},$$

где T_B – время аварийного ремонта силового трансформатора.

Такие расчеты проводятся также для нормального режима в зимний и летний период.

8. Определяется общий фактический износ изоляции обмоток силового трансформатора за расчетный срок (лет)

$$H = \frac{\sum_i L_{срi} T_{расчi}}{365},$$

где $L_{срi}$ – относительный средний износ изоляции в промежутке времени $T_{расчi}$.

Полученный износ сравнивается с номинальным износом изоляции обмоток силового трансформатора и делается вывод о возможности принятых аварийных перегрузок.

Допустимые перегрузки аппаратов.

Электрические аппараты устанавливаются в одной цепи с силовыми трансформаторами, линиями, которые допускают перегрузку, поэтому необходимо рассматривать их возможные перегрузки.

Выключатели.

Анализ нагрузки выключателей показывает, что она в течение суток значительно меняется. Выключатели во время эксплуатации испытывают перегрузки при пусках двигателей, оперативных коммутационных переключениях, КЗ в сети или при ревизии и ремонте ВЛ. В нормальных условиях эксплуатации целесообразно перегружать выключатели с учетом ожидаемых нагрузок в системах электроснабжения.

Продолжительной перегрузочной способностью выключателя является длительный тепловой режим его работы при неизменной нагрузке, при которой превышения температуры всех элементов аппарата достигают своего установившегося значения и находятся в пределах нормируемых.

Рассматриваются возможности перегрузки разных типов выключателей и проводится соответствие между кратностью перегрузки и допустимой длительностью перегрузки, а также между допустимым значением тока выключателя и температуры окружающей среды.

КРУ.

КРУ также допускают перегрузку в зависимости от температуры окружающей среды. Рассматриваются зависимости длительно допустимого тока нагрузки КРУ от температуры окружающей среды (ОС).

Разъединители и отделители.

При длительном перегреве выше допустимых норм в электрических аппаратах происходит интенсивное старение изоляции и окисление контактных соединений. Это снижает надежность их работы. Поэтому предусматривается ГОСТом наибольшее допустимое превышение температуры элементов электрических аппаратов над температурой окружающей среды.

Для аппаратов с разъемными контактами соединения нормы нагрева контактов из меди составляет 75° . Другие же элементы имеют допустимую температуру 120°C воздуха и 90°C в масле.

Рассматриваются зависимости времени нагрева различных контактов разъединителей от кратности перегрузки.

Реакторы.

Различают кратковременную перегрузку реактора и длительную перегрузку одной ветви сдвоенного реактора, а также перегрузку реактора при температуре ОС ниже 35°C . Рассматриваются все эти перегрузки.

Трансформаторы тока.

Определение перегрузочной способности ТТ сводится к определению времени нагрева наиболее нагруженных элементов аппарата до предельно допустимой температуры.

Определение емкостных токов замыкания на землю.

Допускается работа сети с изолированной нейтралью при следующих токах замыкания на землю:

- | | |
|---------|--------------------|
| а) 10 А | при $U= 35$ кВ; |
| б) 15 А | при $U= 15-20$ кВ; |
| в) 20 А | при $U=10$ кВ; |
| г) 30 А | при $U=6$ кВ; |

д) 5 А в схемах блоков генератор – трансформатор с генераторным напряжением 6-20 кВ.

При больших емкостных токах нужна их компенсация. Применение устройств компенсации емкостных токов замыкания на землю способствует быстрому изменению дуги в месте замыкания, поэтому их называют дугогасящими.

Определение емкостного и активного токов замыкания на землю необходимо для правильного выбора мощностей дугогасящих катушек, трансформаторов, к которым они

подключаются, а также для оценки способа выполнения релейной защиты и сигнализации однофазных замыканий на землю.

Для оценки величины емкостного тока замыкания на землю рекомендуется пользоваться уравнением, учитывающим емкости всех элементов схемы сети относительно земли при кабельных линиях:

$$I_3 = K \frac{U_{l_k}}{10},$$

где K – коэффициент, учитывающий емкости молнии, трансформаторов и ошинок относительно земли. $K=1,25-1,35$.

Для ВЛ вместе 10 в знаменателе берется 350.

При замыкании на землю в сети с компенсированной нейтралью ток в месте замыкания представляется в виде двух составляющих токов: Одна обусловлена емкостями системы относительно земли, а вторая – индуктивностью дугогасящей катушки и трансформатора в нейтрали которого она включена. Кроме реактивной составляющей ток замыкания на землю содержит активную составляющую, которая мала по величине и составляет 5-6% от тока замыкания на землю.

Выбор ДГК и определение места ее установки.

ДГК выполняется с учетом длительного обтекания током. Расчетный ток ДГК складывается из трех составляющих: расчетного емкостного тока замыкания на землю, остаточного тока перекомпенсации, тока, обусловленного индуктивным сопротивлением силового трансформатора, к которому подключена ДГК.

Показывается как определяется расчетный ток ДГК.

Мощность ДГК находится через ее расчетный ток и фазное напряжение.

Далее выбирается тип ДГК с плавным регулированием тока.

Задача плавного регулирования тока может быть решена с использованием трех принципов изменения индуктивности катушки: изменением воздушного зазора в магнитной цепи аппарата (плунжерные дорогостоящие катушки), переключением мелкими ступенями ответвлений с помощью переключающего устройства, подобно устройству в силовых трансформаторах при регулировании напряжения под нагрузкой, подмагничиванием магнитной системы аппарата (катушки с подмагничиванием).

Рассматривается каждый из этих принципов и конструктивное исполнение ДГК, выполненных по ним.

Выбор трансформатора для подключения ДГК.

Работающая дугогасящая катушка является однофазной индуктивной нагрузкой для трансформатора, к нейтрали которого она будет подключена.

При замыкании на землю одной фазы сети через обмотку этой фазы трансформатора, в нейтраль которого включена катушка, течет индуктивный ток, равный рабочему току установленного ответвления катушки. Это равносильно прохождению через обмотки каждой фазы $1/3$ тока катушки, что приводит к некоторому падению напряжения на обмотках, вследствие чего напряжение на нейтрали будет меньше нормального фазного и фактическая мощность катушки будет меньше номинальной.

С точки зрения использования мощности дугогасящей катушки и дополнительного нагрева при замыкании на землю в сети наиболее целесообразно применять трансформатор со схемой соединения обмоток.

Мощность дугогасящей катушки не должна превышать 50% мощности трансформатора. В этом случае ток компенсации катушки будет в 1,5 раза больше номинального значения тока обмотки, по которой он протекает.

Количество и место установки дугогасящих катушек с подмагничиванием определяется:

1. Конфигурацией сети и условием ее эксплуатации, т.е. возможностью разделения на электрически изолированные участки или отключения значительных участков сети.

2. Схемами соединения коммутационных пунктов, на которых осуществляется установка дугогасящих катушек.

3. Наличием трансформаторов или других трехфазных устройств с соединением обмоток в звезду, к нейтрали которых могут быть присоединены дугогасительные аппараты с подмагничиванием.

Длительность пуска и самозапуска электродвигателей (ЭД).

При установившемся режиме вращающийся момент двигателя равен моменту сопротивления механизма, что и обеспечивает постоянство частоты вращения вала агрегата двигатель-механизм. Если в силу каких-либо причин это равновесие нарушается, то скорость агрегата изменяется. Изменение частоты вращения агрегата происходит под воздействием избыточного момента.

Если избыточный момент выше, то частота вращения агрегата увеличивается, т.е. происходит разгон ЭД до дет пор, пока не наступит равновесие между моментами двигателя и механизма при большой частоте вращения. Если избыточный момент меньше, то частота вращения снижается, т.е. происходит выбег. Он может быть полным.

Самозапуск сочетает в себе 2 процесса: выбег при пониженном напряжении, разгон до номинальной частоты вращения при восстановлении напряжения. Длительность разгона ЭД определяют графоаналитическим способом. При КЗ близких от шин, когда напряжение снижается до 0, выбег каждого ЭД происходит индивидуально. При отключении ЭД напряжение на их зажимах скачком падает до $0,85 U_{ном}$, а затем по мере выбега у АД быстро падает до 0, а у СД падает более медленно и длительное время поддерживается на уровне $0,7-0,8 U_{ном}$.

Способы и схемы пуска электродвигателей.

У высоковольтных ЭД различают следующие схемы пуска:

- а) прямое включение;
- б) включение через реактор;
- в) включение реактора в нейтраль обмотки статора;
- г) включение трансформатора перед ЭД;
- д) включение трансформатора в нейтраль обмотки статора;
- е) автотрансформаторная схема;
- ж) схема блока трансформатор-двигатель.

Для низковольтных ЭД характерны следующие схемы пуска:

- а) прямое включение;
- б) прямое включение с резервированием;
- в) схема пуска с переключением треугольника на звезду;
- г) включение активного сопротивления;
- д) переключение числа полюсов.

Рассматриваются характеристики и области применения каждого вида схем пуска.

Наиболее предпочтительна схема прямого пуска (для СД – прямого асинхронного пуска), но для высоковольтных ЭД это не всегда приемлемо. Тогда используют реакторные (трансформаторные) схемы пуска.

Определяются пусковые токи для разных способов пуска ЭД.

Самозапуск ЭД.

Показывается как составляется расчетная схема самозапуска.

Порядок оценки возможности самозапуска:

1. Определяется частота вращения (скольжения), до которой затормозился агрегат за время перерыва питания.
2. Определяется остаточное напряжение на шинах ИП.
3. Проверка перегрузки трансформатора токами самозапуска.

4. Определение асинхронного вращательного момента при остаточном напряжении, который для успешного самозапуска должен быть на 10% выше момента сопротивления механизма.

Для АД выполнение последних условий достаточно для заключения о возможности успешного самозапуска.

Для СД указанные условия являются необходимыми, но не достаточными. Для определения достаточного условия самозапуска СД проверяют возможность его вхождения в синхронизм при подсинхронном скольжении $S=0,02-0,08$ (как правило, принимают $S=0,05$).

С этой целью выполняют дальнейшие этапы вычисления:

а) определение реактивного сопротивления двигателя и остаточного напряжения на шинах ИП при подсинхронном скольжении;

б) определение вращательного момента при остаточном напряжении и сравнение его с моментом сопротивления при подсинхронном скольжении.

5. Определение неотключаемой мощности самозапускающихся ЭД.

Определение допустимого несинхронного включения СД.

Определяются максимальные значения периодической составляющей тока СД при несинхронном включении в противофазе.

а) для одного СД,

б) для группы СД.

Находится максимальное значение электромагнитного момента вращения при несинхронном включении в противофазе.

Для группы СД, подключенных к шинам через $X_{доб}$.

Допустимость несинхронного включения СД определяют по двум критериям: по электромагнитному моменту и по току.

Условия допустимости несинхронного включения по току является определяющим.

Общая характеристика и принцип построения электропривода.

Понятие автоматизированного электропривода.

Примеры автоматизированного электропривода: электропривод лифта, электропривод насоса.

Краткий исторический очерк развития. Групповой и многодвигательный электроприводы, их сравнение. Структуры и элементная база систем управления и их развитие. Рост функциональных возможностей.

Характеристика электропривода, как основного средства электрофикации и автоматизации производственных процессов и как основной нагрузки в системах электроснабжения. Совместимость электроприводов с системой энергоснабжения.

Классификация электроприводов.

– по типу применяемых двигателей. Краткая характеристика основных типов электродвигателей;

– по назначению. Электроприводы общепромышленных механизмов, специальные электроприводы.

– по типу системы управления: регулируемый и нерегулируемый электропривод. Структура регулируемого электропривода.

Функции электропривода: понятие о регулировании его координат.

Режим работы электропривода. Установившийся и переходной режимы работы.

Общие положения по регулированию тока, момента, скорости электропривода.

Основы механики электропривода.

Структура механической части электропривода с жесткими связями.

Уравнение движения элементов механической части. Приведение моментов и сил сопротивления, а также масс и моментов инерции к одному элементу. Пример.

Механические характеристики двигателей и механизмов: определение, примеры. Жесткость механической характеристики двигателя. Примеры электроприводов, в которых требуются жесткие и мягкие характеристики.

Электромеханические системы с упругими связями. Двух- и трехмассовые системы. Уравнения движения. Пример составления для двух-массовой системы.

Электроприводы постоянного тока.

Общая характеристика и сферы применения электропривода с ДПТ.

Механические и электромеханические характеристики двигателей постоянного тока независимого возбуждения. Режимы работы машины постоянного тока с независимым возбуждением: двигательный, идеального холостого хода, короткого замыкания, генераторный последовательно и параллельно с сетью. Уравнения баланса мощностей во всех режимах.

Нерегулируемый привод постоянного тока. Пуск и электрическое торможение двигателей постоянного тока с независимым возбуждением. Ограничение тока в пуско-тормозных режимах. Способы организации пуска и торможения: по принципам тока, ЭДС и скорости. Типовые узлы релейно-контакторных схем управления.

Регулирование скорости двигателей постоянного тока с независимым возбуждением. Способы: введением добавочного сопротивления в якорную цепь, изменением магнитного потока и тока якоря. Механические, электромеханические и энергетические характеристики электропривода при различных способах регулирования. Техническая реализация способов. Система тиристорный преобразователь – двигатель: основные характеристики.

Механические и электромеханические характеристики электроприводов постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения. Режимы работы электроприводов. Особенности пуска и торможения. Сферы применения.

Асинхронные электроприводы.

Общая характеристика и сферы применения асинхронного электропривода.

Естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики асинхронных двигателей. Вывод формул на основе упрощенной схемы замещения. Формулы Клосса: полная и упрощенная. Понятие критического скольжения и критического момента. Режимы работы асинхронных машин: двигательный, идеального холостого хода, короткого замыкания, генераторный последовательно и параллельно с сетью. Построение механической характеристики по паспортным данным.

Нерегулируемый привод переменного тока. Пуск и электрическое торможение асинхронных двигателей. Ограничение тока в пуско-тормозных режимах введением добавочных сопротивлений и реакторов в статорную цепь, переключением обмотки статора на пониженную скорость, со «звезды» на «треугольник», с применением устройства мягкого пуска.

Повышение пускового момента двигателей с фазным ротором путем включения добавочного сопротивления в роторную цепь. Расчет пускового сопротивления. Типовые узлы релейно-контакторных схем управления пуском и торможением.

Регулирование скорости асинхронных двигателей. Способы регулирования: изменением сопротивления роторной цепи, изменением числа пар полюсов (примеры переключений секций обмотки статора), изменением питающего напряжения, частотное управление. Механические характеристики, технические и энергетические показатели способов регулирования.

Система преобразователь частоты – асинхронный двигатель: основные характеристики. Типовые законы частотного управления. Упрощенный вывод закона Костенко. Типы преобразователей частоты: непосредственный преобразователь, автономные инверторы тока и напряжения. Структура и функциональные возможности современных преобразователей частоты на основе инвертора напряжения с ШИМ-модуляцией.

Переходные процессы в электроприводах переменного тока. Механический и электромеханический переходные процессы. Обобщенная теория динамики машин переменного тока. Уравнения динамики в неподвижных и вращающихся осях.

Синхронный электропривод.

Общая характеристика и сферы применения синхронного электропривода. Преимущества синхронного электропривода.

Механическая и угловая характеристики синхронного двигателя. Вывод уравнения угловой характеристики для неявнополюсной машины по ее векторной диаграмме. Уравнение характеристики для явнополюсной машины. Устойчивый и неустойчивый участки механической характеристики.

Режимы работы синхронных двигателей: режимы недовозбуждения, полного возбуждения, перевозбуждения, векторные диаграммы в данных режимах.

Компенсация реактивной энергии в синхронном электроприводе. Синхронный компенсатор.

Системы возбуждения синхронных двигателей.

Пуск синхронного электропривода. Пусковая обмотка СД. Процесс возбуждения при пуске. Условия пуска: «легкий» и «тяжелый» пуски. Одноосный эффект.

Торможение синхронного электропривода.

Регулирование скорости СД. Преобразователи частоты для синхронных двигателей. Вентильный электропривод.

Потери энергии в электроприводе и способы их снижения.

Классификация потерь энергии в электроприводе. Постоянные и переменные потери.

Потери энергии в двигательном режиме, их зависимость от нагрузки привода. Вывод зависимости потерь от нагрузки, магнитного потока и скорости в относительных единицах. Определение оптимального магнитного потока, обеспечивающего минимум потерь. Возможности снижения потерь при регулировании магнитного потока. Примеры.

Потери энергии в пуско-тормозных режимах, способы снижения. Вывод выражений для потерь для переходных процессов пуска, торможения противовключением, динамического торможения, реверса вхолостую и под нагрузкой.

Пути энергосбережения в электроприводе: «правильный» выбор двигателя, применение специальных энергосберегающих двигателей, применение специальных технических средств в нерегулируемом электроприводе, переход к регулируемому электроприводе, энергетическая оптимизация регулируемого привода.

Энергетическая эффективность регулируемого электропривода в установившихся и переходных режимах.

Тепловые режимы и выбор мощности электродвигателей.

Критерии выбора мощности электродвигателя: по условиям нагрева, перегрузочной способности, условиям пуска. Нагрузочные диаграммы механизмов и электропривода.

Структура процесса преобразования энергии в электрической машины в различных режимах работы.

Ограничение температуры обмоток двигателя. Классы изоляции обмоток.

Простейшая одноступенчатая тепловая модель двигателя. Вывод дифференциального уравнения. Коэффициент передачи и постоянная времени нагрева машины, их зависимость от габарита двигателя. Общий вид переходного процесса нагрева.

Метод средних потерь. Формулировка, обоснование.

Номинальные режимы работы электропривода S1 – S3.

Длительный режим работы S1. Определение. Методы проверки мощности выбранного электродвигателя по нагреву для двигательного режима с переменной нагрузкой (метод эквивалентных тока, момента и мощности).

Кратковременный режим S2. Определение. Особенности двигателей режима S2.

Повторно-кратковременный режим S3. Определение. Понятие продолжительности включения. Выбор мощности двигателя при повторно-кратковременных режимах работы.

Учет ухудшения теплоотдачи в двигателях с независимой вентиляцией. Коэффициент ухудшения теплоотдачи. Уравнение метода средних потерь при переменной теплоотдаче.

Дополнительные режимы работы двигателей S4 – S8. Определения.

Понятие о допустимой частоте включения двигателя. Вывод выражения для допустимой частоты включения. Анализ выражения и определение зависимости допустимой частоты от параметров цикла и двигателя. Способы повышения допустимой частоты включения.

Переходные процессы в электроприводах.

Определение переходных процессов. Уравнения динамики электроприводов постоянного тока, асинхронных и синхронных электроприводов. Параметры, влияющие на переходные процессы. Электромеханическая и электромагнитная постоянные времени. Определение времени разгона и торможения электропривода при неизменном динамическом моменте. Потери энергии в переходных процессах.

Пускозащитная аппаратура электроприводов.

Магнитные пускатели. Схемы пуска асинхронного двигателя: нереверсивная, реверсивная, с динамическим торможением, двухскоростная.

Твердотельная пусковая аппаратура. Устройство встроенной тепловой защиты электродвигателей (УВТЗ). Фазочувствительное устройство защиты (ФУЗ). Защита от обрыва фазы. Устройства контроля сопротивления изоляции.

Способы и аппаратура для регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока независимого, параллельного возбуждения. Способы и аппаратура для регулирования частоты вращения асинхронных и синхронных двигателей. Вентильный привод.

Регулирование частоты вращения асинхронных электродвигателей с фазным ротором.

Тиристорные управляемые выпрямители. Способы управления тиристорами: амплитудный, фазоимпульсный, при переходе синусоиды через ноль.

Современные преобразователи частоты. Их структура, построение, подключение и эксплуатация.

Конструктивное исполнение двигателей с фазным ротором. Реостатная аппаратура. Ступенчатый пуск двигателя с фазным ротором: в функции времени, в функции скорости.

Электрооборудование кранов и подъемников.

Общие сведения о подъемно-транспортных машинах прерывистого действия. Типовые схемы приводов кранов. Типовые схемы привода лифта. Точная остановка механизмов. Тормозные устройства и способы их подключения. Привод быстроходных лифтов. Особенности электроснабжения кранов.

Электрооборудование машин непрерывного действия.

Назначение и классификация машин непрерывного действия. Статические нагрузки конвейеров. Определение мощности двигателей и места их установки. Допустимые ускорения. Диапазон регулирования скорости и способы их осуществления. Многодвигательный электропривод конвейеров и распределение нагрузки между электродвигателями. Особенности запуска и остановки многосекционных ленточных конвейеров. Типовые схемы управления ими. Конвейеры с согласованным движением. Требования к электроприводу этих конвейеров. Схемы группового электропривода для обеспечения согласованного движения конвейеров. Особенности электроснабжения механизмов непрерывного транспорта.

Электрооборудование насосов и воздуховудных машин.

Назначение и конструкция насосов, воздуховудных машин, их технические характеристики. Статические нагрузки и определение мощности двигателей. Требования, предъявляемые к электроприводам. Мощность и типы применяемых двигателей. Энергетические показатели различных способов регулирования производительности насосов и воздуховудных машин. Типовые схемы управления электроприводами.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ (УКАЗАНИЯ) К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью закрепления знаний, полученных при изучении теоретического курса. Тематика практических занятий приведена в таблице.

№ п. п.	Наименование темы	Кол-во акад. часов
1.	Выбор элементов цеховой электрической сети	6
2.	Расчет токов короткого замыкания	6
3.	Разработка схем низковольтных систем электроснабжения и обеспечение их защиты. Карта селективности	6

На практических занятиях каждому бакалавру выдаются индивидуальные задания, которые выполняются как на занятиях, так и во внеаудиторное время.

Практические занятия проводятся для того, чтобы студенты могли получить основные навыки в основах проектирования низковольтных систем электроснабжения, в рассмотрении вопросов компенсации емкостных токов замыкания на землю и самозапуска электродвигателей.

Цель практических занятий – научить студентов выбирать и анализировать схемы низковольтного электроснабжения, рассчитывать условия пуска и самозапуска ЭД, определять ток замыкания на землю и выбирать ДГР.

В практических занятиях примеры подбираются в соответствии со спецификой специальности, при этом используются реальные схемы объектов и систем.

По практическим занятиям используются специализированные задачи отдельно для каждой специальности на индивидуальных карточках.

В процессе обучения студенты пользуются информационными и компьютерными технологиями. Широко применяются программные продукты MathCad, Visio, «ZAPUSK», «САПР «Жарат»», используется банк данных кафедры, содержащий электронные варианты учебников, справочные данные, а также информацию о современном оборудовании.

Практические занятия рекомендуется проводить согласно следующему плану.

1. Цель занятия.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Блиц-опрос студентов.
4. Решение задач.
5. Анализ качества выполнения индивидуальных домашних заданий и разбор типовых ошибок.
6. Выводы и обобщение результатов.
7. Домашнее задание и задание на самостоятельную проработку.

На первом занятии целесообразно устроить входной контроль, на последнем – комплексную проверку качества знаний студентов.

При изложении кратких теоретических сведений рекомендуется систематизировать и обобщить материал, выделив при этом главные моменты. В процессе изложения материала целесообразно вовлекать студентов в его анализ, активизировать процесс мышления студентов за счет средств интенсивного обучения.

Блиц-опрос студентов или небольшая самостоятельная работа по теме практического занятия позволят лучше усвоить ход решения задач, понять их сущность.

При решении задач можно использовать разные формы. Например, преподаватель, решая задачу на доске, поясняет ее и привлекает к работе всю группу путем вопросов, постоянно подводя студентов к правильному решению.

Другая форма решения задач - самостоятельная работа студентов под контролем преподавателя с пояснением наиболее трудных моментов. Возможно решение задачи на доске студентом, но в этом случае преподаватель руководит процессом решения и вовлекает в работу всю группу.

Как правило, защита индивидуальных домашних заданий должна проводиться во внеаудиторное время, а на практическом занятии следует показать типовые ошибки,

проанализировать результаты выполнения и защиты индивидуальных заданий, отметить лучшие и худшие из них, предложить студентам в виде деловой игры принять решение по устранению замечаний.

В конце практического занятия преподаватель называет тему следующего, указывает разделы теоретического материала, которые студент должен освоить для наиболее эффективного решения задач, выдает домашнее задание.

В процессе проведения практических занятий используются классические и современные педагогические технологии.

Выбор элементов цеховой электрической сети

Выбор места расположения КТП.

При проектировании современных систем электроснабжения решать задачи определения числа и места расположения источников питания становится все сложнее. Это объясняется тем, что проектировщикам при решении этих задач приходится оперировать с большим количеством исходных данных, объем которых постоянно увеличивается. В первую очередь это относится к возросшему числу электроприемников.

Одним из методов позволяющих получить представление о распределении нагрузок по территории объекта является картограмма нагрузок. Это план, на котором изображена картина средней интенсивности распределения нагрузок приемников электроэнергии. Наиболее простым способом изображения средней интенсивности распределения нагрузок состоит в том, что нагрузки изображаются с помощью кругов. В качестве центра нагрузки выбирают центр электрической нагрузки (ЦЭН) электроприемника или группы электроприемников. А радиус круга связывают с расчетной мощностью.

Общий центр электрических нагрузок находим аналогично нахождению центр тяжести системы материальных точек.

Затем, используя вероятностно-статистический математический аппарат, определяются такие характеристики как математическое ожидание координат ЦЭН, полуоси эллипса рассеяния и угол их поворота. На основании этих данных на картограмме электрических нагрузок строится эллипс зоны рассеяния, по которому определяется место расположения цеховой ТП.

Также рассматривается выбор сечений проводников, автоматических выключателей и предохранителей. Примеры их выбора показаны ниже в виде решения комплексной задачи.

Алгоритм расчета центра электрических нагрузок и картограммы электрических нагрузок.

Расчетные методы взяты из следующих источников: /8, с. 67-70/ и /14, с 214-257/.

Для построения картограммы нагрузок и эллипса зоны рассеяния необходима информация о нагрузках. В частности мощности и центр расположения электроприемника или группы электроприемников (объединяемых по технологическому признаку). По справочным данным выбирается суточный график нагрузки для каждого электроприемника или группы электроприемников.

Имея эти данные в качестве исходной информации применим следующий алгоритм для построения картограммы нагрузок:

$$1) \text{ Радиус окружности для изображения нагрузки на картограмме: } R_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi \cdot m}}$$

где m - Масштаб ; P_{pi} - Мощность ЭП.

2) Координаты центра электрических нагрузок для K -го часа суток определяем по формуле:

$$X_k = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i \cdot k_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot k_i} ; \quad Y_k = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i \cdot k_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot k_i} .$$

где P_i - мощность I -й точки потребления.

X_i, Y_i - координаты центра тяжести фигуры I-й точки потребления

K_i - мощность I-го приемника в K-й час суток в процентах от P_i

3) Математическое ожидание координат ЦЭН равны:

$$Q_x = \sum_{k=1}^{24} X_k / 24; \quad Q_y = \sum_{k=1}^{24} Y_k / 24;$$

4) Среднеквадратичные отклонения координат центра:

$$G_x = \sqrt{\sum_{k=1}^{24} (Q_x - X_k) / 24}; \quad G_y = \sqrt{\sum_{k=1}^{24} (Q_y - Y_k) / 24} \quad 5)$$

Коэффициент корреляции координат центров нагрузок равен:

$$K_k = \frac{\sum_{k=1}^{24} (X_k - Q_x) \cdot (Y_k - Q_y)}{24 \cdot G_x \cdot G_y} \quad 6)$$

Угол поворота осей эллипса относительно выбранной системы координат:

$$a = \frac{\arctg\left(\frac{2K_k \cdot G_x \cdot G_y}{G_x^2 \cdot G_y^2}\right)}{2}$$

7) Полуоси эллипса рассеяния определяются:

$$X = \sqrt{6 \cdot (G_x^2 \cdot \cos^2 a + K_k \cdot G_x \cdot G_y \cdot \sin 2a + G_y^2 \cdot \sin^2 a)}$$

$$Y = \sqrt{6 \cdot (G_x^2 \cdot \sin^2 a - K_k \cdot G_x \cdot G_y \cdot \sin 2a + G_y^2 \cdot \cos^2 a)}$$

Исходя из данных полученных в результате расчетов, строится картограмма нагрузок и эллипс рассеяния ЦЭН. Место расположения источника питания (ГПП, ЦРП, ТП) выбирают в любой наиболее удобной его точке.

В этом случае высшее напряжение будет максимально приближено к центру потребления электроэнергии, а распределительные сети будут иметь минимальную протяженность.

Пример определения центра электрических нагрузок.

С целью определения места расположения ГПП, ГРП предприятия, а также цеховых ТП при проектировании строят картограмму электрических нагрузок. Картограмма представляет собой размещенные на генеральном плане предприятия или плане цеха окружности, площадь которых соответствует в выбранном масштабе расчетным нагрузкам.

Радиусы окружностей картограммы определяют по формуле /8, с. 67/:

При построении картограммы нагрузок отдельных цехов предприятия центры окружностей совмещают с центрами тяжести геометрических фигур, изображающих отдельные участки цехов с сосредоточенными нагрузками.

Согласно /8, с. 67/ можно воспользоваться координатами центров отделений цеха для нахождения ЦЭН.

Цех состоит из следующих отделений:

Механическое $X=28; Y=31$;

Сборочная площадка $X=61.5; Y=36$;

Термическое отделение $X=14; Y=12.5$;

Точечная сварка $X=38; Y=12$;

Распределение нагрузок в течение суток для каждого из отделений выбрано исходя из типовых графиков /9, с.120/

Математическое ожидание координат центра электрических нагрузок

$$Q_x = \sum_{k=1}^{24} X_k / 24 = 1287 / 24 = 53,63$$

$$Q_y = \sum_{k=1}^{24} Y_k / 24 = 550 / 24 = 22,92$$

Среднеквадратичные отклонения координат центра:

$$G_x = \sqrt{\sum_{k=1}^{24} (Q_x - X_k)^2 / 24} = \sqrt{1201177 / 24} = 22,23$$

$$G_y = \sqrt{\sum_{k=1}^{24} (Q_y - Y_k)^2 / 24} = \sqrt{38262 / 24} = 9,50$$

Коэффициент корреляции координат центров нагрузок равен:

$$K_k = \frac{\sum_{k=1}^{24} (X_k - Q_x) \cdot (Y_k - Q_y)}{24 \cdot G_x \cdot G_y} = \frac{513566}{24 \cdot 22,23 \cdot 9,50} = 22,23$$

Угол поворота осей эллипса зоны рассеяния

$$a = \frac{\arctg\left(\frac{2K_k \cdot G_x \cdot G_y}{G_x^2 \cdot G_y^2}\right)}{2} = \frac{\arctg\left(\frac{2 \cdot 1 \cdot 22,23 \cdot 9,50}{22,23^2 \cdot 9,50^2}\right)}{2} = 23,14$$

Полуоси эллипса зоны рассеяния

$$X = \sqrt{6 \cdot (G_x^2 \cdot \cos^2 a + K_k \cdot G_x \cdot G_y \cdot \sin 2a + G_y^2 \cdot \sin^2 a)} =$$

$$\sqrt{6 \cdot (22,23^2 \cdot \cos^2 23,14 + 1 \cdot 22,23 \cdot 9,50 \cdot \sin 2 \cdot 23,14 + 9,50^2 \cdot \sin^2 23,14)} = 59,24$$

$$Y = \sqrt{6 \cdot (G_x^2 \cdot \sin^2 a - K_k \cdot G_x \cdot G_y \cdot \sin 2a + G_y^2 \cdot \cos^2 a)} =$$

$$\sqrt{6 \cdot (22,23^2 \cdot \sin^2 23,14 - 1 \cdot 22,23 \cdot 9,50 \cdot \sin 2 \cdot 23,14 + 9,50^2 \cdot \cos^2 23,14)} = 9,82$$

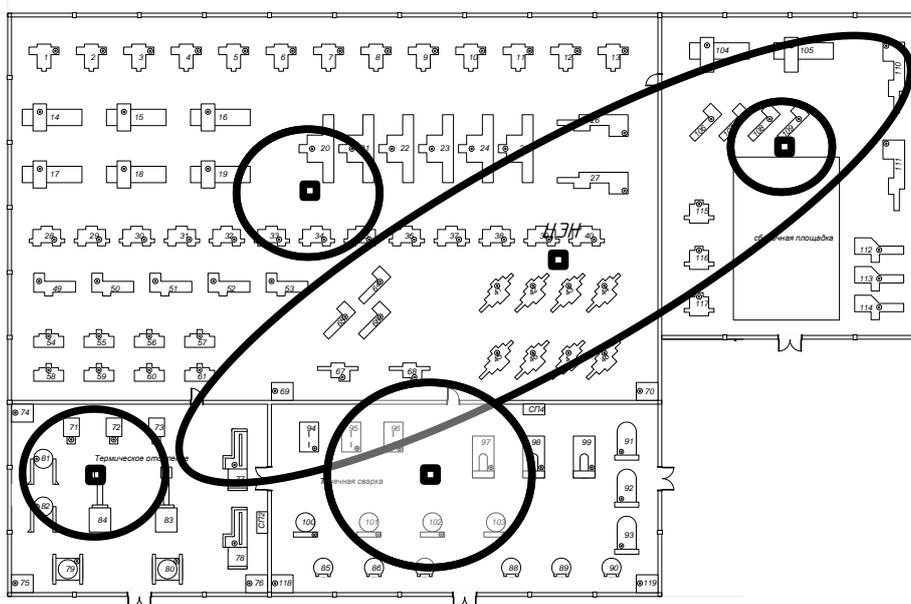


Рисунок - Картограмма электрических нагрузок.

Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов трехфазного короткого замыкания в низковольтной сети.

Коротким замыканием (КЗ) называют всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы электрическое соединение различных точек электроустановки между собой или с землей, при котором токи в аппаратах и проводниках, примыкающих к месту соединения, резко возрастают, превышая, как правило, расчетные значения нормального режима.

Расчетам токов КЗ должны предшествовать анализ схемы электрической сети и определение наиболее тяжелых, но достаточно вероятных, так называемых расчетных условий, в которых оказывается (с точки зрения решаемой задачи) тот или иной ее элемент. Этот анализ является сложно алгоритмизировать, и он остается для самостоятельной творческой работы.

Расчет токов короткого замыкания необходим для выбора и проверки оборудования. Расчетным видом КЗ при выборе и проверке аппаратов и проводников обычно является трехфазное, реже (в сетях ПО кВ и выше) — однофазное КЗ. Выбор расчетных условий КЗ при решении задач релейной защиты зависит от того, в каких целях производится расчет для проверки чувствительности или для выбора параметров срабатывания защит.

Расчет токов КЗ в сети 0,4 кВ производим в соответствии с /12/ и /4/.

При расчетах токов КЗ в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ допускается:

- 1) использовать упрощенные методы расчетов, если их погрешность не превышает 10 %;
- 2) максимально упрощать и эквивалентировать всю внешнюю сеть по отношению к месту КЗ и индивидуально учитывать только автономные источники электроэнергии и электродвигатели, непосредственно примыкающие к месту КЗ;
- 3) не учитывать ток намагничивания трансформаторов;
- 4) не учитывать насыщение магнитных систем электрических машин;
- 5) принимать коэффициенты трансформации трансформаторов равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней напряжения сетей, которые связывают трансформаторы. При этом следует использовать следующую шкалу средних номинальных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23;
- 6) не учитывать влияние синхронных и асинхронных электродвигателей или комплексной нагрузки, если их суммарный номинальный ток не превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета электродвигателей или комплексной нагрузки.

При составлении эквивалентных схем замещения параметры элементов исходной расчетной схемы следует приводить к ступени напряжения сети, на которой находится точка КЗ, а активные и индуктивные сопротивления всех элементов схеме/ замещения выражать в миллиомах.

Методика расчета начального действующего значения периодической составляющей тока КЗ в электроустановках до 1 кВ зависит от способа электроснабжения - от энергосистемы или от автономного источника.

При расчете токов КЗ в электроустановках, получающих питание непосредственно от сети энергосистемы, допускается считать, что понижающие трансформаторы подключены к источнику неизменного по амплитуде напряжения через эквивалентное индуктивное сопротивление.

Если электроснабжение электроустановки осуществляется от энергосистемы через понижающий трансформатор и вблизи места КЗ имеются синхронные и асинхронные электродвигатели или комплексная нагрузка, то начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ с учетом подпитки от электродвигателей или комплексной нагрузки следует определять как сумму токов от энергосистемы (см. п. 6.2.4) и от электродвигателей или комплексной нагрузки (см пп. 6.6 и 6.7).

Алгоритм расчета токов короткого замыкания построен в соответствии с рекомендациями и по методикам изложенными в следующих источниках: /4./ и /12/.

Прежде чем приступить к расчету токов КЗ необходимо выбрать точку, в которой оно происходит, от этого зависят параметры элементов схемы замещения, на основании которых ведется расчет.

Для определения сопротивлений элементов схемы замещения в САПР внесены справочники и дополнительные модули входящие в модуль расчета токов короткого замыкания.

1) Сопротивления элементов схемы замещения находятся по справочным данным или с помощью следующих методов:

1.1) Сопротивление системы

$$X_c = \frac{U_{cp.HH}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{к.ВН} \cdot U_{cp.ВН}} = \frac{U_{cp.HH}^2}{S_k}$$

Где $U_{cp.HH}$ - среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора (В)

$U_{cp.ВН}$ - среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке высшего напряжения трансформатора (В)

$I_{к.ВН} = I_{п0.ВН}$ - действующее значение периодической составляющей тока при трехфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора (кА)

S_k - условная мощность КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора (МВ•А)

При отсутствии указанных данных эквивалентное индуктивное сопротивление системы допускается рассчитывать по току отключения выключателя, установленного на стороне ВН понижающего трансформатора

$$X_c = \frac{U_{cp.HH}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{откл.ном} \cdot U_{cp.ВН}}$$

1.2) Силовой трансформатор

$$R_T = \frac{P_{к.ном} \cdot U_{ном.HH}^2}{S_{Т.НОМ}^2} \cdot 10^6$$

$$X_T = \sqrt{U_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{к.ном}}{S_{Т.НОМ}}\right)^2} \cdot \frac{U_{ном.HH}^2}{S_{Т.НОМ}} \cdot 10^4$$

Где $S_{Т.НОМ}$ - номинальная мощность трансформатора, кВ•А

$P_{к.ном}$ - потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт

$U_{ном.HH}$ - номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ

U_k - напряжение короткого замыкания трансформатора

1.3) Реактор

$$R_p = \frac{\Delta P_{р.ном}}{I_{р.НОМ}^2} \cdot 10^3$$

Где $P_{р.ном}$ - потери активной мощности в фазе реактора при номинальном токе, Вт

$I_{р.НОМ}$ - номинальный ток реактора

$$X_p = \omega_c \cdot (L - M) \cdot 10^3$$

Где $\omega_c = 2\pi f$ - угловая частота напряжения в радианах, рад/с

L - индуктивность катушки реактора, Гн

M - взаимная индуктивность между фазами реактора, Гн

1.4.) Сопротивление электрической дуги в начальный момент времени

$$R_{Д}^{(1)} = \sqrt{\frac{U_{cp.HH}^2}{3 \cdot I_{п0}^2 \cdot K_C^2} - X_1 \sum^2 - R_1 \sum}$$

Где $I_{п0}$ - начальное значение периодической составляющей тока в месте металлического КЗ, кА

$R1\Sigma, X1\Sigma$ - суммарные активное и индуктивное сопротивление цепи КЗ, мОм

K_c - среднестатистическое значение поправочного коэффициента, учитывающего снижение тока в начальный момент дугового КЗ по сравнению с током металлического КЗ

$$K_C = 0,6 - 0,0025 \cdot Z_K + 0,114 \cdot \sqrt{Z_K} - 0,13 \cdot \sqrt[3]{Z_K}$$

Где Z_k - сопротивление цепи КЗ, зависящее от вида КЗ

$$Z_K^{(3)} = \sqrt{R_1 \Sigma^2 + X_1 \Sigma^2}$$

$$Z_K^{(1)} = 1/3 \cdot \sqrt{(2 \cdot R_1 \Sigma + R_0 \Sigma)^2 + (2 \cdot X_1 \Sigma + X_0 \Sigma)^2}$$

Поскольку электрическая дуга обладает только активным сопротивлением то для расчета токов трехфазного и однофазного тока КЗ в начальный момент времени добавляем сопротивление дуги в $R1\Sigma$

2) Трехфазный ток короткого замыкания находится по следующей формуле:

$$I_{по}^{(3)} = \frac{U_{ср.НН}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_1 \Sigma^2 + X_1 \Sigma^2}}$$

Где

$U_{ср.нн}$ - среднее номинальное напряжение сети где произошло КЗ

$R1\Sigma, X1\Sigma$ - суммарные активное и реактивное сопротивление цепи КЗ

$$R_1 \Sigma = R_m + R_p + R_{та} + R_{кв} + R_{ш} + R_k + R_{лк} + R_{вл} + R_d$$

$$X_1 \Sigma = X_c + X_m + X_p + X_{та} + X_{кв} + X_{ш} + X_{лк} + X_{вл}$$

Где

X_c - эквивалентное индуктивное сопротивление системы

R_t, X_t - активные и индуктивные сопротивления прямой послед тр-ра

$R_{тА}, X_{тА}$ - активные и индуктивные сопротивления тра-ра тока

R_p, X_p - активные и индуктивные сопротивления реактора

$R_{кв}, X_{кв}$ - активные и индуктивные сопротивления токовых катушек и переходных сопротивлений подвижных контактов автоматических выключателей, мОм

$R_{ш}, X_{ш}$ - активные и индуктивные сопротивления шин

R_k - суммарные сопротивления контактов и контактных сопротивлений

$R_{лк}, X_{лк}, X_{вл}$ - сопротивления кабельных и воздушных линий

R_d - сопротивление дуги в месте КЗ выбираем по табл 2

4) Ударный ток короткого замыкания

$$I_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot (1 + e^{-\frac{t_{уд}}{T_a}}) = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot K_{уд}$$

Ударный коэффициент определяем по кривым зависимости ударного коэффициента от отношений R/X . /12, с 16/ либо:

$$K_{уд} = 1,02 + 0,98 e^{-\frac{0,01}{T_a}} ;$$

Постоянная времени:

$$T_a = \frac{x_\Sigma}{314 \cdot r_\Sigma}$$

5) Аperiodическая составляющая тока короткого замыкания.

Наибольшее значение аperiodической составляющей в общем случае следует считать равным амплитуде периодической составляющей в начальный момент времени.

$$I_{a0} = \sqrt{2} \cdot I_{n0}$$

6) Учет синхронных и асинхронных электродвигателей

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ от двигателей:

$$I_{no.cd} = \frac{E''_{\phi.cd}}{\sqrt{(X''_{\delta} + X_1 \sum)^2 + (R''_{\delta} + R_1 \sum)^2}}$$

7) Учет комплексной нагрузки при расчетах

В состав комплексной нагрузки могут входить синхронные и асинхронные электродвигатели, преобразователи, электротермические установки, конденсаторные батареи, лампы накаливания.

При определении начального значения периодической составляющей тока КЗ комплексную нагрузку в схему замещения прямой последовательности следует вводить эквивалентной сверхпереходной ЭДС и сопротивлением прямой последовательности.

Метод учета комплексной нагрузки зависит от характера исходной схемы замещения и положения расчетной точки КЗ.

В радиальной схеме допускается не учитывать влияние статических потребителей (преобразователей, электротермических установок, электрического освещения).

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ, ударный ток, а также периодическую составляющую тока КЗ в произвольный момент времени от асинхронных и синхронных электродвигателей в радиальных схемах следует рассчитывать в соответствии с /4, с 47/

8) Учет изменения активного сопротивления проводников при коротком замыкании.

При расчете минимального значения тока КЗ для произвольного момента времени необходимо учитывать увеличение активного сопротивления проводников вследствие их нагрева током КЗ.

В зависимости от целей расчета увеличение активного сопротивления проводников рекомендуется определять с учетом или без учета теплоотдачи в окружающую среду, а также с учетом или без учета электрической дуги в месте КЗ.

Увеличение активного сопротивления проводников рекомендуется учитывать с помощью коэффициента K_s , зависящего от материала и температуры проводника.

Пример расчета токов трехфазного КЗ

Для расчёта токов КЗ на основе однолинейной электрической схемы электроснабжения механического цеха составляем схемы замещения для всех типовых расчётных точек КЗ (шины КТП, ввод шинпровода ШРА, наиболее удалённый ЭП). Составленные схемы даны на рисунке.

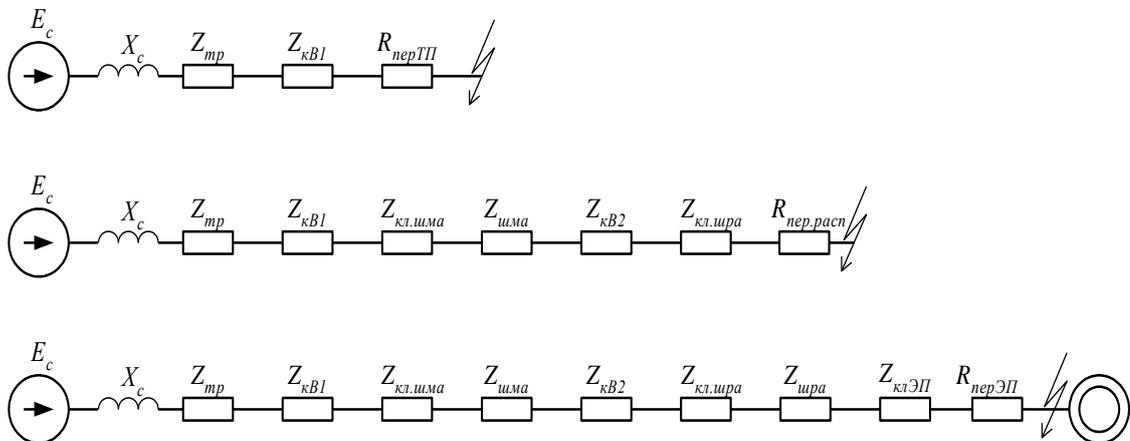


Рисунок – Схемы для расчёта токов КЗ в типовых точках

Находим сопротивление системы, приведённое к напряжению 0,4 кВ:

здесь $I_{откл.10кВ} = 20$ кА – отключающая способность выключателя 10 кВ.

$$X_C = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 20} \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 \cdot 1000 = 0,44 \text{ мОм.}$$

Сопротивление трансформатора ТМ-1600/10/0,4 /6, с. 137/, приведённое к стороне 0,4 кВ:
 $Z_{тр} = 1,1 + j5,4 \text{ мОм.}$

Сопротивления шинопроводов ШМА и ШРА, а также кабельных линий определяем по удельным сопротивлениям /6, с. 138, 139/ и их длине:

$$\text{Например, } Z_{ШМА1} = (0,02 + j0,02) \cdot 18,5 = (0,37 + j0,37) \text{ мОм.}$$

Аналогично определяются сопротивления остальных проводников.

Сопротивления автоматических выключателей найдены по /6, с. 139, таблица 2.54/ в зависимости от их номинальных токов.

$$Z_{кВ1} = (0,13 + j0,07) \text{ мОм;}$$

$$Z_{кВ2} = (0,25 + j0,1) \text{ мОм.}$$

Переходное сопротивление контактных соединений зависит от места КЗ, т.е. от удаленности КЗ от шин ТП /6, с. 137, 138/:

$$R_{перТП} = 15 \text{ мОм;}$$

$$R_{пер.расп} = 20 \text{ мОм;}$$

$$R_{перЭП} = 30 \text{ мОм.}$$

Результирующее сопротивление при КЗ на вводе ШМА:

$$Z_{\Sigma ШМА} = X_C + Z_{тр} + Z_{кВ1} + R_{перТП} = 0,44 + 1,1 + j5,4 + 0,13 + j0,07 + 15 = 16,67 + j5,47 \text{ мОм.}$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ на вводе ШМА /6, с. 141, формула 2.183/:

$$I_{п0 ШМА} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{16,67^2 + 5,47^2}} = 13,163 \text{ кА.}$$

Аналогичным образом найдены токи трёхфазного КЗ для остальных типовых точек КЗ, данные и результаты приведены в таблице.

Ударный ток находится по формуле /6, с. 127/:

Для ввода ШМА:

$$T_a = \frac{5,47}{314 \cdot 16,67} = 0,001 \text{ с;}$$

$$K_{уд} = 1,02 + 0,98 e^{-\frac{0,01}{0,001}} = 1,02;$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 13,163 \cdot 1,02 = 18,988 \text{ кА.}$$

Таблица – Расчет токов трехфазного КЗ

Точка КЗ	$R1 \Sigma$ [мОм]	$X1 \Sigma$ [мОм]	$K_{уд}$	$I_{п0(3)}$ [кА]	$I_{уд(3)}$ [кА]
Первый вариант					
ШИНЫ КТП	16,22	5,9	1,02	13,37	19,29
ШРА1	22,64	6,78	1,02	9,76	14,09
ШРА2	22,43	6,62	1,02	9,87	14,24
ШРА3	22,19	5,72	1,02	10,07	14,53
ШРА4	23,74	6,39	1,02	9,39	13,54
ШРА5	24,76	6,01	1,02	9,06	13,07
СП1	54,56	13,23	1,02	4,11	5,93
СП2	33,56	8,64	1,02	6,66	9,61
СП3	23,54	6,56	1,02	9,44	13,62
СП4	23,62	6,61	1,02	9,41	13,57
СП5	22,69	6,08	1,02	9,82	14,17
ЭП1	66,49	17,18	1,02	3,36	4,85

Второй вариант					
Точка КЗ	$R1\sum$ [мОм]	$X1\sum$ [мОм]	Куд	$I_{по(3)}$ [кА]	$I_{уд(3)}$ [кА]
ШРА1	23,16	6,17	1,02	9,63	13,89
ШРА2	22,3	5,84	1,02	10,01	14,44
ШРА3	22,19	5,72	1,02	10,07	14,53
СП1	54,56	13,23	1,02	4,11	5,93
СП2	33,56	8,64	1,02	6,66	9,61
СП3	23,43	6,44	1,02	9,5	13,7
СП4	23,62	6,61	1,02	9,41	13,57
СП5	22,69	60,86	1,32	3,55	6,65
СП6	24,46	6,56	1,02	9,11	13,15
СП7	26,84	6,31	1,02	8,37	12,07
СП8	43,47	7,95	1,01	5,22	7,53
ЭП1	66,49	17,18	1,02	3,36	4,85

Расчет однофазного короткого замыкания.

Однофазное короткое замыкание является несимметричным коротким замыканием и при его расчета следует учитывать возникновение токов нулевой последовательности.

Расчет токов несимметричных КЗ следует выполнять с использованием метода симметричных составляющих.

При этом предварительно следует составить схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей.

В схему замещения прямой последовательности должны быть введены все элементы исходной расчетной схемы, причем при расчете начального значения периодической составляющей тока несимметричного КЗ автономные источники, синхронные и асинхронные электродвигатели, а также комплексная нагрузка должны быть учтены сверхпереходными ЭДС и сверхпереходными сопротивлениями.

Схема замещения обратной последовательности также должна включать все элементы исходной расчетной схемы.

Сопротивления обратной последовательности следует принимать по данным каталогов, а асинхронных машин - принимать равными сверхпереходным сопротивлениям.

Алгоритм расчета токов короткого замыкания построен в соответствии с рекомендациями и по методикам изложенными в следующих источниках: /4./ и /12/.

Как и в случае расчета трехфазного тока короткого замыкания для расчета однофазного короткого замыкания следует найти сопротивления элементов схемы замещения.

Следует особо отметить тот факт, что однофазное короткое замыкание является несимметричным и при его расчете следует учитывать возникновение токов нулевой последовательности.

Однофазный ток короткого замыкания в начальный момент времени определяется по следующей формуле:

$$I_{по}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ср.НН}}{\sqrt{(2 \cdot R_1\sum + R_0\sum)^2 + (2 \cdot X_1\sum + X_0\sum)^2}}$$

Где $R1\sum, X1\sum$ - суммарные активное и реактивное сопротивление прямой последовательности относительно точки КЗ, мОм

$R0\sum, X0\sum$ - суммарные активное и реактивное сопротивление нулевой последовательности относительно точки КЗ, мОм

$$R_0\sum = R_{от} + R_p + R_{та} + R_{кв} + R_k + R_{ои} + R_{ок} + R_{ов} + R_d$$

$$X_0\sum = X_{от} + X_p + X_{та} + X_{кв} + X_{ои} + X_{ок} + X_{ов}$$

Где $R_{0т}, X_{0т}$ - активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности понижающего трансформатора.

$R_{0ш}, X_{0ш}$ - активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности шинпровода.

$R_{0к}, X_{0к}$ - активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабеля.

$R_{0в}, X_{0в}$ - активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности воздушной линии.

$$R_{0вл} = R_1 + 3R_3 = R_1 + 0.15 \text{ мОм/м}$$

$$X_{0вл} = 3X_{1вл}$$

Пример расчёта токов однофазного КЗ.

Сопротивления нулевой последовательности шин зависят от многих факторов: расположения и выполнения заземляющих проводников, близости проводящих металлоконструкций и др.

В практических расчетах активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности шин принимают в диапазоне соответственно: $\gamma_{0ш}=(5...14,7)\gamma_{1ш}$; $x_{0ш}=(7,5...9,4)x_{1ш}$.

В большинстве случаев допустимо считать $\gamma_{0ш}=10\gamma_{1ш}$; $x_{0ш}=8,5x_{1ш}$.

При отсутствии заводских данных можно принимать: для шинпроводов $\gamma_{0ш}=10\gamma_{1ш}$ и $x_{0ш}=1x_{1ш}$; для трехжильных кабелей $\gamma_{0к}=10\gamma_{1к}$; $x_{0к}=4x_{1к}$.

В таблице показаны суммарные сопротивления схем замещения прямой и нулевой последовательностей относительно расчётных точек однофазного КЗ, там приведены значения периодической составляющей тока однофазного КЗ и ударного тока при однофазном КЗ.

Для точки короткого замыкания «Шины КТП» имеем:

$$I_{по}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ср.НН}}{\sqrt{(2 \cdot R_1 \sum + R_0 \sum)^2 + (2 \cdot X_1 \sum + X_0 \sum)^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 16,67 + 16,67)^2 + (2 \cdot j5,47 + j5,47)^2}} = 13,2$$

Таблица – Расчет токов однофазного КЗ.

Точка КЗ	$R_1 \sum$ [мОм]	$X_1 \sum$ [мОм]	$R_0 \sum$ [мОм]	$X_0 \sum$ [мОм]	Куд	$I_{по(1)}$ [кА]	$I_{уд(1)}$ [кА]
Первый вариант							
ШИНЫ КТП	16,22	5,9	1,1	5,4	1,02	18,36	26,49
ШРА1	22,64	6,78	21,22	5,46	1,02	10,01	14,44
ШРА2	22,43	6,62	20,37	0,17	1,02	10,39	15
ШРА3	22,19	5,72	24,69	6,36	1,02	9,71	14
ШРА4	23,74	6,39	36,61	11,42	1,02	7,91	11,41
ШРА5	24,76	6,01	46,79	7,55	1,02	7,04	10,16
СП1	54,56	13,23	176,96	87,97	1,02	2,24	3,24
СП2	33,56	8,64	134,74	19,09	1,02	3,37	4,87
СП3	23,54	6,56	39,19	11,73	1,02	7,71	11,12
СП4	23,62	6,61	39,02	10,17	1,02	7,75	11,17
СП5	22,69	6,08	29,71	9,17	1,02	8,87	12,79
ЭП1	66,49	17,18	186,96	87,97	1,02	2,02	2,91
Второй вариант							
ШРА1	23,16	6,17	16,67	5,46	1,02	10,58	15,26
ШРА2	22,3	5,84	30,34	9,93	1,02	8,88	12,81
ШРА3	22,19	5,72	25,77	7,33	1,02	9,53	13,75
СП1	54,56	13,23	176,96	87,97	1,02	2,24	3,24
СП2	33,56	8,64	134,74	19,09	1,02	3,37	4,87
СП3	23,43	6,44	23,43	6,44	1,02	9,5	13,7
СП4	23,62	6,61	39,02	10,17	1,02	7,75	11,17
СП5	22,69	60,86	29,7	9,17	1,32	4,59	8,59
СП6	24,46	6,56	34,02	11,9	1,02	7,99	11,53
СП7	26,84	6,31	46,54	9,31	1,02	6,75	9,73
СП8	43,47	7,95	129,69	15,42	1,01	3,16	4,56
ЭП1	66,49	17,18	186,96	87,97	1,02	2,02	2,91

Разработка схем низковольтных систем электроснабжения и обеспечение их защиты. Карта селективности

Разработка схем низковольтного электроснабжения и обеспечение их защиты.

Методика технико-экономического анализа схем низковольтного электроснабжения.

Технико-экономические расчеты выполняем на основе методик изложенных в /9/ и /27/.

Для определения наиболее выгодного как с точки зрения эксплуатации, так и с точки зрения строительства варианта схемы электроснабжения цеха необходимо определить среднегодовые эквивалентные расходы. Определить среднегодовые эквивалентные расходы можно как для двух вариантов схем электроснабжения целиком, так и для различающихся в них элементов. Второй вариант предпочтительнее ввиду экономии времени.

Как уже описано выше среднегодовые эквивалентные расходы состоят из суммарных капиталовложений в оборудование и издержек. Издержки состоят из эксплуатационных расходов, амортизационных отчислений и стоимости потерь электроэнергии.

Виду того что неотъемлемой частью расчета среднегодовых эквивалентных расходов являются потери электроэнергии их также необходимо рассчитать. Потери электроэнергии будем определять по методике, изложенной в «Положение о нормировании технологических потерь при передаче и распределении электроэнергии. Приказ N 267 от 4 октября 2005 г.»

Для того чтобы перейти к изложению методики расчета потерь электроэнергии следует сначала описать используемые термины:

Отпайка – любое отходящее присоединение от ШМА (ШРА, РП, РЩ, ЩОС) или ШРА запитанный кабелем непосредственно от КТП.

Отходящее присоединение – фидеры КТП то есть ШМА; ШРА, кабели питающие РП (РЩ) или ШРА.

Узел - группа однотипных ЭП, подключенных к одному РП или равномерно распределенных вдоль ШРА.

При расчете потерь следует учитывать следующие факторы:

- 1) Количество присоединений на КТП – сумма всех отходящих присоединений на КТП, кроме АВР на 0,4 кВ.
- 2) Суммарное количество отпаек в сети – любое отходящее присоединение.
- 3) Удельное сопротивление отходящего присоединения, то есть ШМА, проводник соединяющий РП или ШРА с шинами КТП, ШРА если он непосредственно подключен к шинам КТП – иначе это сопротивления всех присоединений КТП, кроме АВР на 0,4 кВ.
- 4) Количество отпаек на данном присоединении – любое отходящее присоединение от ШМА или ШРА, запитанное кабелем от КТП.
- 5) Длина ШМА – расстояние от начала ШМА дл точки подключения ШРА или РП или длина кабеля, которым запитан ШРА от шин КТП
- 6) Удельное сопротивление ШРА или проводника, соединяющего РП и ШМА для соответствующей отпайки.
- 7) Число узлов на ШРА или РП.
- 8) Длина ШРА до узла – длинна ШРА до центра группы однотипных электроприемников или длинна проводника, которым РП подключено к ШМА или шинам КТП.
- 9) Чем выполнено подключение ЭП в данном узле – удельное сопротивление и длина проводника.
- 10) Показатели ЭП данного узла – номинальная мощность, коэффициент мощности.

Нормативным методом расчета нагрузочных потерь электроэнергии в сетях 0,4 кВ является метод оценки потерь на основе зависимости потерь от обобщенной информации о схемах и нагрузках сети.

Исходя из типа элемента и его стоимости как вносимой пользователем вручную, так и выбираемой из справочных данных САПР вычисляется как стоимость отдельных элементов, так и стоимость среднегодовых эквивалентных расходов.

Суммарные капитальные вложения определяются следующей формулой:

$\sum K = \sum (Z_n \cdot n)$, где Z_n – цена того или иного элемента сети; N – количество или длина.

Алгоритм расчета потерь электроэнергии.

Алгоритм расчета потерь электроэнергии разработан в соответствии с расчетными методиками, изложенными в /26/. Алгоритм делится на две ветви. Первая ветвь предназначена для расчета потерь для радиальных схем электроснабжения с нагрузкой сосредоточенной в конце линии, а вторая для схем в которых нагрузка равномерно распределена по ШРА.

Студент, исходя из табличных данных, по справочным данным выбирает элементы схемы сети, их тип, количество и длину. Потери электроэнергии в проводниках определяются по расчётному току для одного или нескольких рассматриваемых вариантов электроснабжения цеха.

1) Для радиальных схем потери определяем по формуле:

$$\Delta W = 3 \cdot I_p^2 \cdot r_{уд} \cdot L \cdot T_r / 10^6$$

Где $r_{уд}$ – удельное активное сопротивление проводника, мОм/м;

L – длина проводника, м;

T_r – количество часов в году, 8760 ч.

2) Для схем, где нагрузка равномерно распределена вдоль ШРА:

$$\Delta W = 3 \cdot I_p^2 \cdot r_{уд} \cdot L_{экв} \cdot T_r / 10^6$$

Где $r_{уд}$ – удельное активное сопротивление проводника, мОм/м;

$L_{экв}$ – длина проводника, м;

T_r – количество часов в году, 8760 ч.

$$L_{экв} = L_m + 0,44 \cdot L_{2-3} + 0,22 \cdot L_1$$

Где L_m – Длина магистрали, м;

L_{2-3} – Длина двухфазных и трехфазных ответвлений, м;

L_1 – Длина однофазных ответвлений, м;

Алгоритм определения эксплуатационных издержек и среднегодовых эквивалентных расходов.

Расчетный алгоритм построен на основе методической информации из /27/.

Расчеты ведем по следующим формулам:

1) Суммарные капиталовложения – сумма всех затрат на оборудование

$$K = \sum Z$$

Где Z – Затраты на оборудование

2) Издержки определяются суммой издержек:

$$I = I_{тэр} + I_{ам} + I_{\Delta W}$$

Где $I_{тэр}$ – издержки на текущие эксплуатационные расходы;

$I_{ам}$ – издержки на амортизацию;

$I_{\Delta W}$ – стоимость потерь электроэнергии.

3) Издержки на текущие эксплуатационные расходы:

$$I_{тэр} = \alpha_{тэр} \cdot K$$

Где $\alpha_{тэр}$ - норма отчислений на обслуживание и ремонты цеховой сети

4) Издержки на амортизацию:

$$I_{ам} = K / T_{сл}$$

Где $T_{сл}$ – срок службы оборудования.

4) Стоимость потерь электроэнергии:

$$I_{\Delta W} = C_0 \cdot \Delta W$$

Где C_0 = удельная стоимость потерь электроэнергии

5) Эквивалентные среднегодовые расходы:

$$Z = E \cdot K + I$$

где E – норматив дисконтирования (пороговое значение рентабельности, выбранный для инвестиционного проекта, должен учитывать и процент инфляции).

Технико-экономический анализ вариантов схем.

При выборе оптимального варианта необходимо учитывать капитальные вложения и издержки, которые включают в себя отчисления на эксплуатацию, ремонты, амортизацию и стоимость потерь электроэнергии.

Потери электроэнергии в ШРА4 в первом варианте: $L_{эkv} = 18,59$ м.

$$\Delta W_{ШРА4} = 3 \cdot 249,38^2 \cdot 18,59 \cdot 8760 / 1000 = 6315,17 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Суммарные потери электроэнергии в 1 и 2 вариантах составили:

Таблица – Потери электроэнергии в каждом элементе сети

Проводник	I_p [А]	$R_{уд}$ [мОм]	L [М]	Потери, [кВт·ч]
первый вариант				
ШРА4	249,38	0,2	18,39	6315,17
ШРА5	128,13	0,2	18,39	1667,36
КЛ ШМА1-ШРА4	249,38	0,4	2,5	1658,87
КЛ ШМА1-ШРА5	128,13	1,1	2,5	1186,66
КЛ ШМА2-СП3	1095,39	0,06	22	47866,83
85-87	283,01	0,27	6,5	3694,07
94-96	226,41	0,23	33,9	10960,6
100-102	249,05	0,23	15,6	6103,02
104, 105	313,48	0,27	9,39	6554,45
106-109	125,38	0,76	42,59	13553,5
110, 111	67,91	1,53	17,1	3192,54
112-114	88,81	1,1	21,7	4948,79
115-117	114,94	0,76	31	8287,43
118	67,91	1,53	8,8	1642,94
ИТОГО				117633,21
второй вариант				
КЛ ШМА1-СП6	236,57	0,15	4,69	1106,01
КЛ ШМА1-СП7	95,62	0,54	4,69	620,13
КЛ ШМА1-СП8	88,01	0,54	23,29	2603,86
КЛ ШМА1-СП3	1095,39	0,06	29,1	63314,76
85-87	283,01	0,27	23,7	13469,17
94-96	226,41	0,23	22,7	7339,4
100-102	249,05	0,23	23,2	9076,28
104, 105	313,48	0,27	19,2	13387,82
106-109	125,38	0,76	52,5	16703,25
110, 111	67,91	1,53	28,39	5302,24
112-114	88,81	1,1	22,6	5154,04
115-117	114,94	0,76	19,7	5266,53
118	67,91	1,53	4,69	877,48
ИТОГО				144222,2

Расчёт капитальных вложений и издержек.

Капиталовложения в ШРА4: $K_{ШРА} = 18,40 \cdot 15,5 = 285,2$ руб.

Стоимости отдельных элементов электрической сети определены согласно /2, с. 551–552/ и /8, с. 180/.

Рассчитываем составляющие издержек и суммарные издержки:

$$I_{т\text{р}1} = 0,023 \cdot 1132,84 = 26,1 \text{ тыс. руб.}; \quad I_{т\text{р}2} = 0,023 \cdot 775,37 = 17,9 \text{ тыс. руб.};$$

$$I_{ам1} = \frac{1132,84}{20} = 56,7 \text{ тыс. руб.}; \quad I_{ам2} = \frac{775,37}{20} = 38,8 \text{ тыс. руб.};$$

$$I_{\Delta W2} = 0,029 \cdot 118267,8 = 3429,8 \text{ тыс. руб.};$$

$$I_{\Delta W3} = 0,029 \cdot 144221 = 4182,4 \text{ тыс. руб.};$$

$$I_1 = 26,1 + 56,7 + 3429,8 = 3512,6 \text{ тыс. руб.};$$

$$I_2 = 17,9 + 38,8 + 3588,1 = 3644,8 \text{ тыс. руб.}.$$

Удельная стоимость потерь электроэнергии /11, рис. 34.9/, в ценах 1989 г.

Среднегодовые эквивалентные расходы.

$Z_1=0,1 \cdot 1134,4+3512,6=3627$ тыс. руб.;

$Z_2=0,1 \cdot 776,5+3644,8=4306,22$ тыс. руб.

Таблица – Капиталовложения с учетом потерь для каждого варианта

Проводник	Сечение (марка),	L [М]	K,[руб/м]	Сумма,[тыс.руб]
Первый вариант				
ШРА4	ШРА73У3,250 А	18,39	15,5	285,2
ШРА5	ШРА73У3, 250 А	18,39	15,5	285,2
КЛ ШМА1-ШРА4	3x95	2,5	1,99	4,97
КЛ ШМА1-ШРА5	3x95	2,5	1,07	2,67
КЛ ШМА2-СПЗ	3•(3x185)	22	10,07	221,75
85-87	2•(3x70)	6,5	3,25	21,19
94-96	3x150	33,9	2,8	95,25
100-102	3x150	15,6	2,8	43,83
104, 105	2•(3x70)	9,39	3,25	30,64
106-109	3x50	42,59	1,34	57,08
110, 111	3x25	17,1	0,83	14,36
112-114	3x35	21,7	1,07	23,21
115-117	3x50	31	1,34	41,54
118	3x25	8,8	0,83	7,39
Потери электроэнергии		117632,3	0,02	3429,76
Капитальные затраты				1132,84
Среднегодовые эквивалентные расходы				3627

Продолжение таблицы

Проводник	Сечение (марка),мм ²	L [М]	K [руб/м]	Сумма [тыс.руб]
Второй вариант				
КЛ ШМА1-СП6	3x240	4,69	4,21	19,83
КЛ ШМА1-СП7	3x70	4,69	1,62	7,66
КЛ ШМА1-СП8	3x70	23,29	1,62	37,97
КЛ ШМА1-СПЗ	3•(3x185)	29,1	10,07	293,32
85-87	2•(3x70)	23,7	3,25	77,26
94-96	3x150	22,7	2,8	63,78
100-102	3x150	23,2	0	0
104, 105	2•(3x70)	19,2	3,25	62,59
106-109	3x50	52,5	1,34	70,34
110, 111	3x25	28,39	0,83	23,85
112-114	3x35	22,6	1,07	24,18
115-117	3x50	19,7	1,34	26,39
118	3x25	4,69	0,83	3,94
Потери электроэнергии		144221	0,029	4182,4
Капитальные затраты				775,37
Среднегодовые эквивалентные расходы				4306,22

Разработка конкурентно-способных вариантов схем низковольтного электроснабжения.

Цеховые сети распределения электроэнергии должны:

обеспечивать необходимую надежность электроснабжения приемников электроэнергии в зависимости от их категории;

быть удобными и безопасными в эксплуатации;

иметь оптимальные технико-экономические показатели (минимум среднегодовых эквивалентных расходов);

иметь конструктивное исполнение, обеспечивающее применение промышленных и скоростных методов монтажа.

Схемы цеховых сетей делят на магистральные и радиальные. Линию цеховой электрической сети, отходящую от распределительного устройства низшего напряжения цеховой ТП и предназначенную для питания отдельных наиболее мощных приемников электроэнергии и распределительной сети цеха, называют главной магистральной линией (или главной магистралью). Главные магистрали рассчитывают на большие рабочие токи (до 6300 А); они

имеют небольшое количество присоединений. Широко применяют магистральные схемы типа блока трансформатор–магистраль (БТМ). В такой схеме отсутствует РУ низшего напряжения на цеховой подстанции, а магистраль подключается непосредственно к цеховому трансформатору через вводной автоматический выключатель. При двухтрансформаторной подстанции и схеме БТМ между магистралями для взаимного резервирования устанавливают перемычку с автоматическим выключателем. Рекомендуется применять магистральные схемы с числом отходящих от ТП магистралей, не превышающим числа силовых трансформаторов. На основе вышеизложенных предпосылок и рекомендаций, содержащихся в /8, с.172–175/, было сформировано два варианта электроснабжения цеха, представленных на рис.

Цех состоит из четырех отделений: механическое отделение, сборочная площадка, термическое отделение, сварочное отделение.

В обоих вариантах электроснабжение механического отделения выполнено с помощью распределительного шинпровода установленного на стойках на высоте 3,5 метра. А электроснабжение остальных отделений цеха отличается.

В частности в первом варианте сборочное отделение питается от ШРА, а во втором от РШ.

Электроснабжение термического и сварочного отделений выполнены с помощью РШ и в обоих вариантах отличаются друг от друга местом расположения СПЗ.

Питание к станкам подведено в металлических трубах, которые являются одновременно и нулевым проводом.

Питание РШ осуществляется с помощью трехжильных кабельных линий, а в качестве нулевого провода используется одножильный кабель меньшего типоразмера.

Выбор сечений проводников и коммутационно-защитной аппаратуры.

При выборе аппаратов и проводников должны учитываться:

прочность изоляции, необходимая для надежной работы в длительном режиме и при кратковременных перенапряжениях;

- допустимый нагрев токами в длительных режимах;
- технико-экономическая целесообразность;
- соответствие окружающей среде и роду установки;
- достаточная механическая прочность;
- допустимые потери напряжения в нормальном и аварийном режимах.
- согласование сечений с коммутационно-защитной аппаратурой

Условия выбора и проверки оборудования:

1) Выбор и проверка шинпроводов:

Комплектные шинпроводы типа ШМА выбирают по расчётному току силового трансформатора, к которому подключена магистраль /8, с.184/:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}};$$

Распределительные шинпроводы типа ШРА выбирают по расчетному току нагрузки.

$$I_{ном} = \frac{\sum P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi};$$

где $P_{ном}$ – номинальная активная мощность электроприёмника, кВт;

$U_{ном}$ – номинальное линейное напряжение сети, кВ;

$\cos \varphi$ – номинальный коэффициент мощности нагрузки; /10, с. 178/.

Проверка на электродинамическую стойкость выполняется по условию /8, с. 184/:

$$i_{уд} < i_{уд доп}$$

где $i_{уд доп}$ – допустимый ударный ток КЗ для данного типа шинпровода /8, с. 177, 179/.

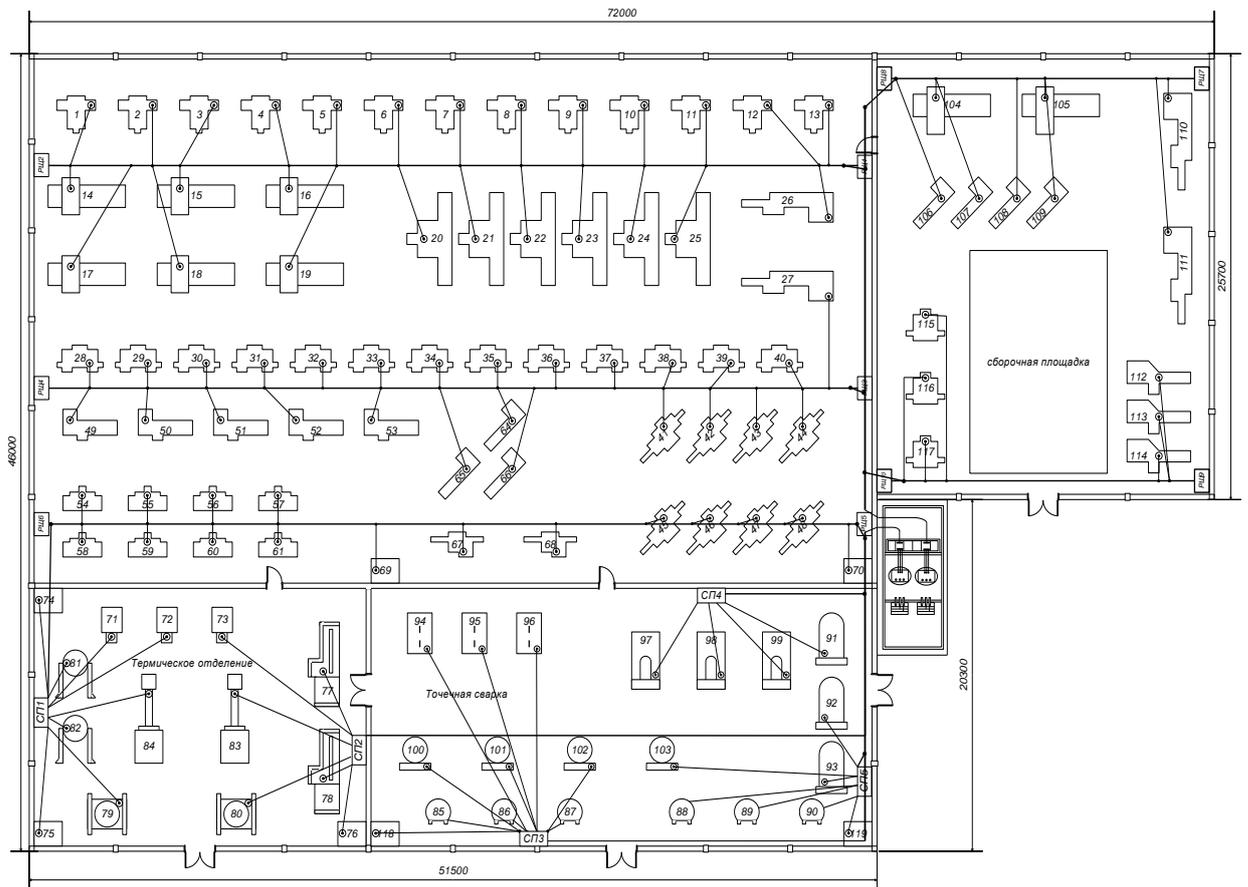


Рисунок – Первый вариант электроснабжения цеха

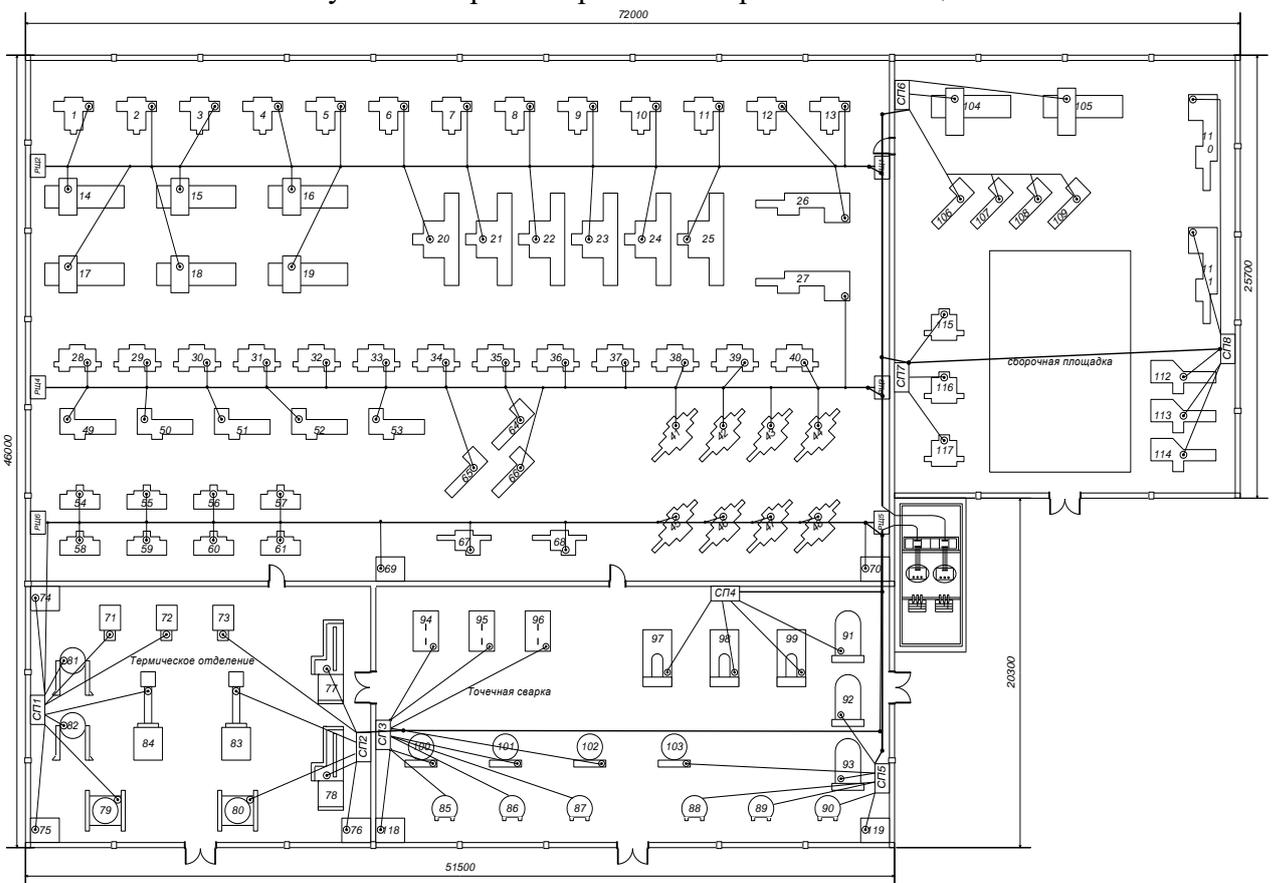


Рисунок – Второй вариант электроснабжения цеха

2) Выбор и проверка сечений проводов и жил кабелей цеховой сети:

Сечения проводов и жил кабелей цеховой сети выбирают по нагреву длительным расчетным током /8, с. 184, формула 7.5/:

$$I_p \leq K_{сн} \cdot I_{доп}$$

где $K_{сн}$ – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей.

Допустимые токи уже с учётом условий прокладки определяются по ПУЭ (таблица 1.3.5).

Расчётный ток электроприёмников, присоединяемых к распределительному шинопроводу (или СП), определяется по фактически потребляемой мощности ЭП по формуле /8, с. 292/:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta};$$

где $P_{ном}$ – номинальная активная мощность электроприёмника, кВт;

$U_{ном}$ – номинальное линейное напряжение сети, кВ;

$\cos \varphi$ – номинальный коэффициент мощности нагрузки;

η – номинальный КПД /10, с. 178/.

При расчёте напряжений необходимо проверить, чтобы самое низкое из напряжений в узлах было не меньше допустимого. Вместо определения самого низкого из напряжений в узлах обычно определяют наибольшую потерю напряжения. Разница между напряжениями источника питания и узла с самым низким напряжением называется наибольшей потерей напряжения.

Потерю напряжения в каком-либо проводнике определяют по формуле /8, с. 184/:

$$\Delta U = \sqrt{3} I_p (r_{уд} \cos \varphi + x_{уд} \sin \varphi) \cdot L / 1000,$$

где I_p – расчётный ток в проводнике, А;

$r_{уд}$, $x_{уд}$ – удельное активное и индуктивное сопротивление проводника, мОм/м;

L – длина проводника, м.

Принятые сечения проводов и жил кабелей должны соответствовать защитному устройству /8, с. 185/:

$$I_{дл.доп} \geq I_3 \cdot k_{защ}$$

где I_3 – параметр защитного устройства (ток срабатывания, номинальный ток);

$k_{защ}$ – коэффициент защиты /8, с. 186, таблица 7.6/.

3) Выбор и проверка предохранителей.

Плавкий предохранитель предназначен для защиты электрических установок от токов КЗ и перегрузок.

Основными его характеристиками являются номинальный ток плавкой вставки $I_{ном.вст}$, номинальный ток предохранителя $I_{ном.пр}$, номинальное напряжение предохранителя $U_{ном.пр}$, номинальный ток отключения предохранителя $I_{ном.откл}$, защитная (времятоковая) характеристика предохранителя.

Номинальным током плавкой вставки называют ток, на который рассчитана плавкая вставка для длительной работы в нормальном режиме.

Номинальный ток предохранителя – это ток, при длительном протекании которого не наблюдается перегрева предохранителя в целом. Необходимо иметь в виду, что в предохранителе может использоваться плавкая вставка с номинальным током, меньшим номинального тока предохранителя.

Номинальное напряжение предохранителя определяет конструкцию предохранителя и длину плавкой вставки.

Отключающая способность предохранителя характеризуется номинальным током отключения, являющимся наибольшим током КЗ, при котором предохранитель разрывает цепь без каких-либо повреждений, препятствующих его дальнейшей работе после смены плавкой вставки.

Наибольшее распространение в сетях напряжением до 1 кВ получили предохранители типа НПН (насыпной неразборный) и типа ПН2 (насыпной разборный).

Различают плавкие предохранители инерционные (типа ИП), способные выдерживать значительные кратковременные перегрузки, и безинерционные (типов НПН, ПН2) с ограниченной способностью к перегрузкам.

Выбор предохранителей производят по условиям /8, с.283/:

$$U_{ном.пр} \geq U_{ном.уст}; \quad I_{ном.пр} \geq I_{р.мах}$$

где $U_{ном.уст}$ – номинальное напряжение сети; $I_{р.мах}$ – максимальный рабочий ток.

Плавкая вставка для безинерционных предохранителей выбирается следующим образом /8, 283/:

$$I_{ном.вст} \geq I_{р.мах}; \quad I_{ном.вст} \geq i_n / K_{пер}$$

где i_n – пусковой ток одного двигателя. $K_{пер}=2,5$ – при защите ответвления, идущего к одиночному двигателю с нечастыми пусками и длительностью пускового периода не более 2,5с или при защите линии, питающей силовую или смешанную нагрузку; $K_{пер}=1,6$ – при защите ответвления, идущего к одиночному двигателю с частыми пусками или большой длительностью пускового периода; /8, с. 284/.

Согласование предохранителей с выбранными сечениями.

Токи плавких вставок должны соответствовать кратностям токов однофазных КЗ в сетях с заземлённой нейтралью /8, с. 284/:

$$I_{п0}^{(1)} \geq K_{з,о} \cdot I_{ном.вст}$$

где $K_{з,о}=3$ – кратность тока замыкания в помещениях с нормальной средой.

4) Выбор и проверка автоматических выключателей.

Наряду с плавкими предохранителями в установках напряжением до 1 кВ широко применяют автоматические воздушные выключатели, выпускаемые в одно-, двух- и трехполюсном исполнении, постоянного и переменного тока.

Автоматические выключатели снабжают специальным устройством релейной защиты, которое в зависимости от типа выключателя выполняют в виде токовой отсечки, максимальной токовой защиты или двухступенчатой токовой защиты.

Для этого используют электромагнитные и тепловые реле. Эти реле называют расцепителями.

Конструктивно автоматические выключатели намного сложнее предохранителей и представляют собой сочетание выключателя и расцепителя.

Номинальным током автоматического выключателя $I_{ном.а}$ называют наибольший ток, при протекании которого выключатель может длительно работать без повреждений.

Номинальным напряжением автоматического выключателя $U_{ном.а}$ называют указанное в паспорте напряжение, равное напряжению электрической сети, для работы в которой этот выключатель предназначен.

Номинальным током расцепителя $I_{ном.рас}$ называют указанный в паспорте ток, длительное протекание которого не вызывает срабатывание расцепителя.

Током уставки расцепителя называют наименьший ток, при протекании которого расцепитель срабатывает.

При выборе уставок тока срабатывания автоматических выключателей необходимо учитывать различия в характеристиках и погрешности в работе расцепителей выключателей.

Существуют следующие требования к выбору автоматических выключателей:

номинальное напряжение выключателя не должно быть ниже напряжения сети;

отключающая способность должна быть рассчитана на максимальные токи КЗ, проходящие по защищаемому элементу;

номинальный ток расцепителя должен быть не меньше наибольшего расчетного тока нагрузки, длительно протекающего по защищаемому элементу /8, с. 289/:

$$I_{ном.рас} \geq I_{р.мах};$$

автоматический выключатель не должен отключаться в нормальном режиме работы защищаемого элемента, поэтому ток уставки замедленного срабатывания регулируемых расцепителей следует выбирать по условию /8, с. 289/:

$$I_{ном.рас} \geq (1,1 \div 1,3) I_{р.мах};$$

при допустимых кратковременных перегрузках защищаемого элемента автоматический выключатель не должен срабатывать; это достигается выбором уставки мгновенного срабатывания электромагнитного расцепителя по условию /8, с. 291/:

$$I_{ном.рас.э} \geq (1,25 \div 1,35) i_n;$$

где i_n – пиковый ток. Согласно /8, с. 291/ для выключателей, имеющих только расцепители мгновенного срабатывания, минимальный ток КЗ в самой удаленной точке линии должен превышать ток

уставки мгновенного срабатывания не менее чем в 1,4 раза для выключателей с номинальным током до 100 А и в 1,25 раза для всех других выключателей, т.е. в нашем должно соблюдаться условие: $I_{н0}^{(1)} \geq 1,25I_{сраб}$,

Автоматические выключатели также проверяются по отключающей способности /1, с. 255/: $I_{откл} > I_{н0}^{(3)}$.

Расчетный ток комплектного шинопровода: $I = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2300 \text{ А}$

Выбираем два комплектных магистральных шинопровода марки ШМА68-НУЗ с номинальным током 2500 А, с поперечным сечением прямой секции 444×215 мм длиной 4,5 м /8, с. 177–178, таблица 7.3/.

Таблица – Выбор шинопроводов

№ шинопровода	Питаемые электроприёмники	P _p , кВт	Q _p , кВАр	I _p , А	I _{дл,доп} , А	Марка шинопровода
1 вариант						
1	1–26	106,2	104,43	215	250	ШПРА73У3
2	27–44, 49–53, 64–66	203,5	200,08	411,9	630	
3	45–48, 54–70, СП1	385,4	183,7	616,8	630	
4	104–110	136,6	105,9	249,5	250	
5	112–115	72,4	51,2	128	250	
2 вариант						
1	1–26	106,2	104,43	215	250	ШПРА73У3
2	27–44, 49–53, 64–66	203,5	200,08	411,9	630	
3	45–48, 54–70	135,4	109,7	247,5	400	

Таблица – Выбор сечений питающих кабелей

Соединяемые элементы	I _p , А	Сечение кабеля, мм ²	I _{дл,доп} , А	Марка кабеля	
1 вариант					
КТП–ШМА1	2300	5·(3х240)	2325	АПВБГ	
КТП–ШМА2	2300	5·(3х240)	2325		
ШМА1–ШРА1	215	3х95	255		
ШМА1–ШРА2	411,9	3х240	465		
ШМА1–ШРА4	249,5	3х95	255		
ШМА1–ШРА5	128	3х35	130		
ШМА2–ШРА3	622,8	2·(3х150)	680		
ШРА3–СП1	371,3	3х185	390		
ШМА2–СП2	234,9	3х95	255		
ШМА2–СП3	1095,4	3·(3х185)	1170		
ШМА2–СП4	431,7	3х240	465		
ШМА2–СП5	753,9	2·(3х185)	780		
2 вариант					
КТП–ШМА1	2300	5·(3х240)	2325		АПВБГ
КТП–ШМА2	2300	5·(3х240)	2325		
ШМА1–ШРА1	215	3х95	255		
ШМА1–ШРА2	411,9	3х240	465		
ШМА1–СП6	236,4	3х240	465		
ШМА1–СП7	103,9	3х70	210		
ШМА1–СП8	84,8	3х70	210		
ШМА2–ШРА3	622,8	2·(3х150)	680		
ШРА3–СП1	371,3	3х185	390		
ШМА2–СП2	234,9	3х95	255		
ШМА2–СП3	1095,4	3·(3х185)	1170		
ШМА2–СП4	431,7	3х240	465		
ШМА2–СП5	753,9	2·(3х185)	780		

Для выбора осветительного шинопровода определяется расчётный ток осветительной нагрузки /8, с. 271/:

$$I_{p.o} = \frac{P_{p.o}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\varphi}; I_{ном} = \frac{39,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,91} = 60 \text{ А.}$$

По $I_{p.o} = 60 \text{ А}$ выбран специальный осветительный шинопровод ШОС-73 на ток 63 А /8, с. 270/.
Для станка №1 имеем:

$$I_{ном} = \frac{17}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,89 \cdot 0,85} = 32,43 \text{ А.}$$

Для питания станка №1 принимается провод АПВ (3x10) мм² с длительно-допустимым током $I_{дл.доп} = 47 \text{ А}$ /3, табл. 1.3.5/, прокладка выполняется в трубах.

Аналогично выбираются сечения питающих проводов для остальных ЭП, результаты сведены в табл.

Выбор шинопроводов и сечений кабелей также осуществляется по расчётному току, результаты сведены в табл.

Таблица – Выбор сечений проводов к ЭП

Номер электроприёмника на плане	$P_{ном}$, кВт	I_p , А	Сечение провода (кабеля), мм ²	$I_{дл.доп}$, А	Марка провода (кабеля)
1–13	17	32,43	3x8	40	АПВ
14–19	28	73,1	3x25	80	АПВ
20–25	17	44,4	3x10	47	АПВ
26, 27	34	88,8	3x35	95	АВВГ
28–40	42	109,7	3x50	130	АВВГ
41–48	45	117,6	3x50	130	АВВГ
49–53	30	78,4	3x25	80	АПВ
54–61	24	62,7	3x25	80	АПВ
62, 63	15	39,2	3x10	47	АПВ
67, 68	40	104,5	3x50	130	АВВГ
64–66	32	83,6	3x35	95	АВВГ
69,70	15	30,1	3x10	47	АПВ
71–73	35	57,3	3x16	60	АПВ
77, 78	20	32,7	3x10	47	АПВ
79, 80	36	58,9	3x16	60	АПВ
81, 82	54	88,4	3x35	95	АВВГ
83, 84	67	109,6	3x50	130	АВВГ
74–76	18	36,1	3x10	47	АПВ
85–90	125	283	2·(3x70)	330	АВВГ
91–93	110	249,1	3x150	255	АВВГ
94–96	100	226,4	3x150	255	АВВГ
97–99	90	203,8	3x120	220	АВВГ
100–103	110	249,1	3x150	255	АВВГ
104, 105	120	313,5	2·(3x70)	330	АВВГ
106–109	48	125,4	3x50	130	АВВГ
110, 111	26	67,9	3x25	80	АПВ
112–114	34	88,8	3x35	95	АВВГ
115–117	44	114,9	3x50	130	АВВГ
118, 119	32	64,2	3x25	80	АПВ

В сетях напряжением до 1 кВ защиту электрооборудования выполняют плавкими предохранителями и расцепителями автоматических выключателей.

Выбор предохранителей.

Выбор предохранителя для ЭП № 1:

$U_c=0,4$ кВ; $I_{p.max}=44,4$ А; $i_{п}/K_{пер}=5 \cdot 44,4/2,5=88,8$ А;

Выбираем предохранитель типа ПН2-100 с током плавкой вставки $I_{ном.вст}=100$ А.

Аналогично выбираются предохранители для остальных ЭП, результаты представлены в табл.

Таблица – Выбор предохранителей

Номер электроприёмника на плане	I_p , А	Марка предохранителя	$i_{п}/K_{пер}$, А	$I_{вст}$, А
1–13	32,43	ПН2-100	88,8	100
14–19	73,1	ПН2-250	146,2	150
20–25	44,4	ПН2-100	88,8	100
26, 27	88,8	ПН2-250	177,6	200
28–40	109,7	ПН2-250	219,4	250
41–48	117,6	ПН2-250	235,2	250
49–53	78,4	ПН2-250	156,8	200
54–61	62,7	ПН2-250	125,4	150
62, 63	39,2	ПН2-100	78,4	100
67, 68	104,5	ПН2-250	209	250
64–66	83,6	ПН2-250	167,2	200
69,70	30,1	ПН2-100	60,2	80
71–73	57,3	ПН2-100	–	60
77, 78	32,7	ПН2-100	–	40
79, 80	58,9	ПН2-100	–	60
81, 82	88,4	ПН2-100	–	100
83, 84	109,6	ПН2-250	–	120
74–76	36,1	ПН2-100	72,2	80
85–90	283	ПН2-400	–	300
91–93	249,1	ПН2-250	–	250
94–96	226,4	ПН2-250	–	250
97–99	203,8	ПН2-250	–	250
100–103	249,1	ПН2-250	–	250
104, 105	313,5	ПН2-630	617	630
106–109	125,4	ПН2-400	250,8	300
110, 111	67,9	ПН2-250	135,8	150
112–114	88,8	ПН2-250	177,6	200
115–117	114,9	ПН2-250	229,8	250
118, 119	64,2	ПН2-250	128,4	150

Выбор автоматических выключателей.

Выбор автоматического выключателя, защищающего ШРА1:

$I_{p.max}=215$ А; $i_{пик}=643,9$ А;

$1,3I_{p.max}=1,1 \cdot 215=280$ А; $1,25 \cdot i_{п}=1,25 \cdot 643,9=805$ А,

Выбираем автоматический выключатель марки АВМ-10Н /8, с. 286, таблица 11.2/:

$I_{ном.а}=1000$ А, $U_{ном.а}=0,4$ кВ, $I_{ном.рас}=600$ А; $I_{рас.ном э}=900$ А.

Аналогично выбраны остальные автоматические выключатели, результаты показаны в таблице.

Таблица – Выбор автоматических выключателей

Соединяемые элементы	I_p, A	Выключатель	$I_{ном}, A$	$I_{рас. ном}, A$	$I_{пик}, A$	$I_{рас. ном \text{ э}}, A$
1 вариант						
ШМА1	2300	Э25	2500	3000	3814	5000
ШМА2	2300	Э25	2500	3000	3814	5000
ШРА1	215	АВМ-10Н	1000	600	643,9	900
ШРА2	411,9	АВМ-10Н	1000	800	979,9	1600
ШРА3	622,8	АВМ-10Н	1000	800	1190,8	1600
ШРА4	249,5	АВМ-4Н	400	300	1763,7	2400
ШРА5	128	АВМ-4Н	400	150	683,0	1200
СП1	371,3	АВМ-10Н	1000	600	545,7	900
СП2	234,9	АВМ-4Н	400	400	409,3	600
СП3	1095,4	АВМ-15Н	1500	1500	1405,5	2200
СП4	431,7	АВМ-10Н	1000	600	431,7	600
СП5	753,9	АВМ-10Н	1000	1000	1064	1500
2 вариант						
ШМА1	2300	Э25	2500	3000	3814	5000
ШМА2	2300	Э25	2500	3000	3814	5000
ШРА1	215	АВМ-10Н	1000	600	643,9	900
ШРА2	411,9	АВМ-10Н	1000	800	979,9	1600
ШРА3	622,8	АВМ-10Н	1000	800	1190,8	1600
СП1	371,3	АВМ-10Н	1000	600	545,7	900
СП2	234,9	АВМ-4С	400	300	409,3	600
СП3	1095,4	АВМ-15Н	1500	1500	1405,5	2200
СП4	431,7	АВМ-10Н	1000	600	431,7	600
СП5	753,9	АВМ-10Н	1000	1000	1064	1500
СП6	236,4	АВМ-10Н	1000	1000	1750,6	2000
СП7	103,9	АВМ-4Н	400	400	658,9	800
СП8	84,8	АВМ-4Н	400	120	513,7	800

Расчет токов короткого замыкания.

Для проверки выбранного электрооборудования необходимо провести расчёт токов трёхфазного и однофазного короткого замыкания. Расчёты проводятся в соответствии с методикой, изложенной в п4.

Для расчёта токов КЗ составляем схемы замещения для всех типовых расчётных точек КЗ (шины КТП, ввод шинпровода ШРА, наиболее удалённый ЭП). Составленные схемы даны на рисунке.

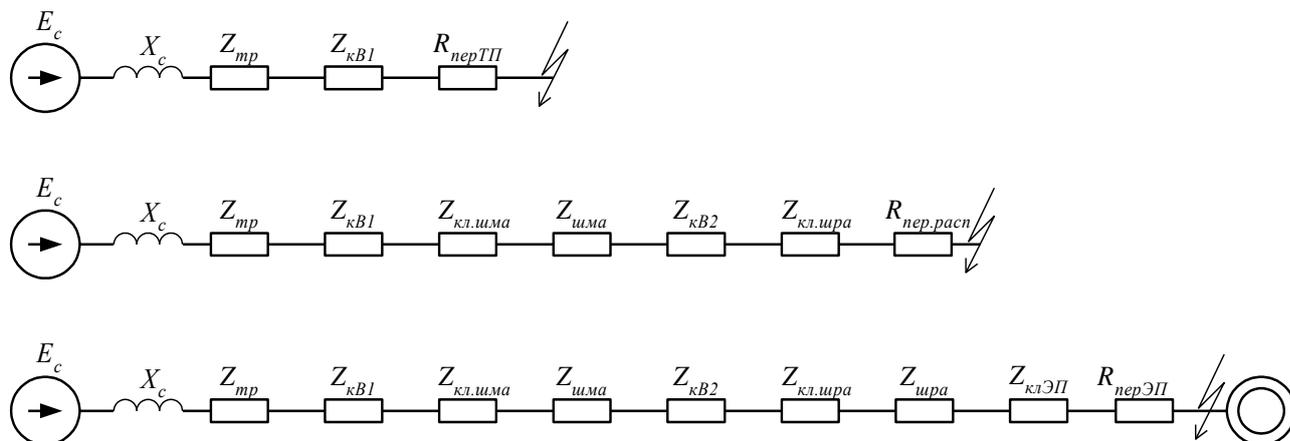


Рисунок – Схемы для расчёта токов КЗ в типовых точках

В таблицах приведены результаты расчетов короткого замыкания выполненные в САПР «Жарат».

Таблица – Расчет токов трехфазного КЗ

Точка КЗ	$R1 \Sigma$ [мОм]	$X1 \Sigma$ [мОм]	Куд	$I_{по(3)}$ [кА]	$I_{уд(3)}$ [кА]
Первый вариант					
ШИНЫ КТП	16,22	5,9	1,02	13,37	19,29
ШРА1	22,64	6,78	1,02	9,76	14,09
ШРА2	22,43	6,62	1,02	9,87	14,24
ШРА3	22,19	5,72	1,02	10,07	14,53
ШРА4	23,74	6,39	1,02	9,39	13,54
ШРА5	24,76	6,01	1,02	9,06	13,07
СП1	54,56	13,23	1,02	4,11	5,93
СП2	33,56	8,64	1,02	6,66	9,61
СП3	23,54	6,56	1,02	9,44	13,62
СП4	23,62	6,61	1,02	9,41	13,57
СП5	22,69	6,08	1,02	9,82	14,17
ЭП1	66,49	17,18	1,02	3,36	4,85
Второй вариант					
ШРА1	23,16	6,17	1,02	9,63	13,89
ШРА2	22,3	5,84	1,02	10,01	14,44
ШРА3	22,19	5,72	1,02	10,07	14,53
СП1	54,56	13,23	1,02	4,11	5,93
СП2	33,56	8,64	1,02	6,66	9,61
СП3	23,43	6,44	1,02	9,5	13,7
СП4	23,62	6,61	1,02	9,41	13,57
СП5	22,69	60,86	1,32	3,55	6,65
СП6	24,46	6,56	1,02	9,11	13,15
СП7	26,84	6,31	1,02	8,37	12,07
СП8	43,47	7,95	1,01	5,22	7,53
ЭП1	66,49	17,18	1,02	3,36	4,85

Таблица – Расчет токов однофазного КЗ.

Точка КЗ	$R1 \Sigma$ [мОм]	$X1 \Sigma$ [мОм]	$R0 \Sigma$ [мОм]	$X0 \Sigma$ [мОм]	Куд	$I_{по(1)}$ [кА]	$I_{уд(1)}$ [кА]
Первый вариант							
ШИНЫ КТП	16,22	5,9	1,1	5,4	1,02	18,36	26,49
ШРА1	22,64	6,78	21,22	5,46	1,02	10,01	14,44
ШРА2	22,43	6,62	20,37	0,17	1,02	10,39	15
ШРА3	22,19	5,72	24,69	6,36	1,02	9,71	14
ШРА4	23,74	6,39	36,61	11,42	1,02	7,91	11,41
ШРА5	24,76	6,01	46,79	7,55	1,02	7,04	10,16
СП1	54,56	13,23	176,96	87,97	1,02	2,24	3,24
СП2	33,56	8,64	134,74	19,09	1,02	3,37	4,87
СП3	23,54	6,56	39,19	11,73	1,02	7,71	11,12
СП4	23,62	6,61	39,02	10,17	1,02	7,75	11,17
СП5	22,69	6,08	29,71	9,17	1,02	8,87	12,79
ЭП1	66,49	17,18	186,96	87,97	1,02	2,02	2,91
Второй вариант							
ШРА1	23,16	6,17	16,67	5,46	1,02	10,58	15,26
ШРА2	22,3	5,84	30,34	9,93	1,02	8,88	12,81
ШРА3	22,19	5,72	25,77	7,33	1,02	9,53	13,75
СП1	54,56	13,23	176,96	87,97	1,02	2,24	3,24
СП2	33,56	8,64	134,74	19,09	1,02	3,37	4,87
СП3	23,43	6,44	23,43	6,44	1,02	9,5	13,7
СП4	23,62	6,61	39,02	10,17	1,02	7,75	11,17
СП5	22,69	60,86	29,7	9,17	1,32	4,59	8,59
СП6	24,46	6,56	34,02	11,9	1,02	7,99	11,53
СП7	26,84	6,31	46,54	9,31	1,02	6,75	9,73
СП8	43,47	7,95	129,69	15,42	1,01	3,16	4,56
ЭП1	66,49	17,18	186,96	87,97	1,02	2,02	2,91

Проверка сечений проводников и коммутационно-защитной аппаратуры.

Определим потерю напряжения в проводе к ЭП1:

$$\Delta U_{\text{клЭП1}} = \sqrt{3} \cdot 44,4 \cdot (3,12 \cdot 0,65 + 0,099 \cdot 0,76) \cdot 7,5 / 1000 = 1,213 \text{ В.}$$

Складывая данное значение с аналогично найденными потерями в ШМА1, в кабельной линии от ШМА1 к ШРА1 и в ШРА1, получаем наибольшую потерю напряжения в размере 20,77 В, что составляет 5,2% против допустимых 5%. Поэтому было принято решение о замене провода с сечением 3x10 мм² к ЭП1 на провод сечением 3x35 мм². После этого потеря напряжения составила 19,93 В или 4,98%, что допустимо.

Номер электроприёмника на плане	I _p , А	Сечение провода (кабеля), мм ²	ΔU, В	ΔU, %	Новое сечение провода (кабеля), мм ²	ΔU', %
<i>1 вариант</i>						
1-3	32,43	3x10	20,766	5,19	3x25	4,98
4-13	32,43	3x10	18,707	4,68		
14, 17, 18	73,1	3x25	20,502	5,13	3x50	4,99
15, 16, 19	73,1	3x25	19,47	4,87		
20-25	44,4	3x10	16,692	4,17		
26	88,8	3x35	2,98	0,75		
27	88,8	3x35	2,819	0,71		
28-40	109,7	3x50	18,366	4,59		
41-44	117,6	3x50	8,84	2,21		
45-48	117,6	3x50	5,741	1,44		
49-53	78,4	3x25	18,637	4,66		
54-61	62,7	3x25	13,57	3,39		
67, 68	104,5	3x50	8,843	2,21		
64-66	83,6	3x35	14,914	3,73		
69,70	30,1	3x10	10,47	2,62		
71, 72	57,3	3x16	16,172	4,04		
73	57,3	3x16	7,73	1,93		
77, 78	32,7	3x10	6,568	1,64		
79	58,9	3x16	15,803	3,95		
80	58,9	3x16	7,192	1,80		
81, 82	88,4	3x35	14,897	3,72		
83	109,6	3x50	6,773	1,69		
84	109,6	3x50	15,335	3,83		
74, 75	36,1	3x10	15,493	3,87		
76	36,1	3x10	6,492	1,62		
85-87	283	2·(3x70)	4,54	1,14		
88-90	283	2·(3x70)	2,878	0,72		
91	249,1	3x150	2,343	0,59		
92, 93	249,1	3x150	2,209	0,55		
94-96	226,4	3x150	5,106	1,28		
97-99	203,8	3x120	2,267	0,57		
100-102	249,1	3x150	4,721	1,18		
103	249,1	3x150	2,91	0,73		
104, 105	313,5	2·(3x70)	6,496	1,62		
106-109	125,4	3x50	7,11	1,78		
110, 111	67,9	3x25	7,826	1,96		
112-114	88,8	3x35	5,561	1,39		
115-117	114,9	3x50	4,128	1,03		
118	64,2	3x25	5,142	1,29		
119	64,2	3x25	2,153	0,54		
<i>2 вариант</i>						
1-3	32,43	3x10	20,766	5,19	3x25	4,98
4-13	32,43	3x10	18,707	4,68		
14, 17, 18	73,1	3x25	20,502	5,13	3x50	4,99
15, 16, 19	73,1	3x25	19,47	4,87		
20-25	44,4	3x10	16,692	4,17		
26	88,8	3x35	2,98	0,75		
27	88,8	3x35	2,819	0,71		
28-40	109,7	3x50	18,366	4,59		
41-44	117,6	3x50	8,84	2,21		
45-48	117,6	3x50	5,741	1,44		

Продолжение таблицы 18.

Номер электроприёмника на плане	I_p, A	Сечение провода (кабеля), mm^2	$\Delta U, B$	$\Delta U, \%$	Новое сечение провода (кабеля), mm^2	$\Delta U', \%$
49–53	78,4	3x25	18,637	4,66		
54–61	62,7	3x25	13,57	3,39		
67, 68	104,5	3x50	8,843	2,21		
64–66	83,6	3x35	14,914	3,73		
69,70	30,1	3x10	10,47	2,62		
71, 72	57,3	3x16	16,172	4,04		
73	57,3	3x16	7,73	1,93		
77, 78	32,7	3x10	6,568	1,64		
79	58,9	3x16	15,803	3,95		
80	58,9	3x16	7,192	1,80		
81, 82	88,4	3x35	14,897	3,72		
83	109,6	3x50	6,773	1,69		
84	109,6	3x50	15,335	3,83		
74, 75	36,1	3x10	15,493	3,87		
76	36,1	3x10	6,492	1,62		
85–87	283	2·(3x70)	5,486	1,37		
88–90	283	2·(3x70)	2,841	0,71		
91	249,1	3x150	2,343	0,59		
92, 93	249,1	3x150	2,172	0,54		
94–96	226,4	3x150	5,237	1,31		
97–99	203,8	3x120	2,267	0,57		
100–102	249,1	3x150	5,529	1,38		
103	249,1	3x150	2,873	0,72		
104, 105	313,5	2·(3x70)	2,082	0,52		
106–109	125,4	3x50	2,511	0,63		
110, 111	67,9	3x25	4,627	1,16		
112–114	88,8	3x35	3,609	0,90		
115–117	114,9	3x50	1,429	0,36		
118	64,2	3x25	4,939	1,24		
119	64,2	3x25	2,115	0,53		

Таблица – Проверка шинопроводов на электродинамическую стойкость

Шинопровод	Марка шинопровода	$I_{дл.доп}, A$	$i_{уд}, kA$	$i_{уд доп}, kA$
1 вариант				
ШМА1	ШМА68-НУЗ	2500	19,29	70
ШМА2	ШМА68-НУЗ	2500	19,29	70
ШРА1	ШРА73УЗ	250	14,09	15
ШРА2	ШРА73УЗ	630	14,24	35
ШРА3	ШРА73УЗ	630	14,53	35
ШРА4	ШРА73УЗ	250	13,54	15
ШРА5	ШРА73УЗ	250	13,07	15
2 вариант				
ШМА1	ШМА68-НУЗ	2500	19,29	70
ШМА2	ШМА68-НУЗ	2500	19,29	70
ШРА1	ШРА73УЗ	250	13,89	15
ШРА2	ШРА73УЗ	630	14,44	35
ШРА3	ШРА73УЗ	630	14,53	35

Таблица – Согласование питающих кабелей и выключателей

Кабель питает...	Выключатель	$k_{защ}$	$I_{сраб}, A$	$I_{дл.доп}$ для кабеля или шинопровода, A	$I_{сраб} \cdot k_{защ}, A$
1 вариант					
СП1	АВМ-10Н	0,22	900	390	198
СП2	АВМ-4Н	0,22	600	255	132
СП3	АВМ-15Н	0,22	2200	1170	484
СП4	АВМ-10Н	0,22	600	465	132
СП5	АВМ-10Н	0,22	1500	780	330

2 вариант						
СП1	АВМ-10Н	0,22	900	390	198	
СП2	АВМ-4Н	0,22	600	255	132	
СП3	АВМ-15Н	0,22	2200	1170	484	
СП4	АВМ-10Н	0,22	600	465	132	
СП5	АВМ-10Н	0,22	1500	780	330	
СП6	АВМ-4Н	0,22	2000	465	440	
СП7	АВМ-4Н	0,22	800	210	176	
СП8	АВМ-4Н	0,22	800	210	176	

Таблица – Согласование сечений проводов и предохранителей у ЭП

Номер плана	электроприёмника на	Сечение провода, мм ²	I _{дл,доп} , А	Марка предохранителя	I _{вст} , А	I _{вст} ·k _{защ} , А
1-3		35	95	ПН2-100	100	33
4-13		10	47	ПН2-100	100	33
14, 17, 18		50	130	ПН2-250	150	49,5
15, 16, 19		25	80	ПН2-250	150	49,5
20-25		10	47	ПН2-100	100	33
26, 27		35	95	ПН2-250	200	66
28-40		50	130	ПН2-250	250	82,5
41-48		50	130	ПН2-250	250	82,5
49-53		25	80	ПН2-250	200	66
54-61		25	80	ПН2-250	150	49,5
62, 63		10	47	ПН2-100	100	33
67, 68		50	130	ПН2-250	250	82,5
64-66		35	95	ПН2-250	200	82,5
69,70		10	47	ПН2-100	80	26,4
71-73		16	60	ПН2-100	60	19,8
77, 78		10	47	ПН2-100	40	13,2
79, 80		16	60	ПН2-100	60	19,8
81, 82		35	95	ПН2-100	100	33
83, 84		50	130	ПН2-250	120	39,6
74-76		10	47	ПН2-100	80	26,4
85-90		2·70	330	ПН2-400	300	99
91-93		150	255	ПН2-250	250	82,5
94-96		150	255	ПН2-250	250	82,5
97-99		120	220	ПН2-250	250	82,5
100-103		150	255	ПН2-250	250	82,5
104, 105		2·70	330	ПН2-630	630	207,9
106-109		50	130	ПН2-400	300	99
110, 111		25	80	ПН2-250	150	49,5
112-114		35	95	ПН2-250	200	66
115-117		50	130	ПН2-250	250	82,5
118, 119		25	80	ПН2-250	150	49,5

Таблица – Проверка автоматических выключателей

Элемент	Авт. выкл.	I _{сраб} , А	1,25·I _{сраб} , А	I ⁽¹⁾ _{п0} в конце элемента, кА	защищаемого	I _{откл.в.} , кА	I ⁽³⁾ _{п0} , кА
1 вариант							
ШМА1	Э25	5000	6250	7,915		45	19,29
ШМА2	Э25	5000	6250	7,715		45	19,29
ШРА1	АВМ-10Н	900	1125	2,544		20	14,09
ШРА2	АВМ-10Н	1600	2000	3,725		20	14,24
ШРА3	АВМ-10Н	1600	2000	3,76		20	14,53
ШРА4	АВМ-4Н	2400	3000	3,952		20	13,54
ШРА5	АВМ-4Н	1200	1500	3,748		20	13,07
СП1	АВМ-10Н	900	1125	2,061		20	5,93
СП2	АВМ-4Н	600	750	2,952		20	9,61
СП3	АВМ-15Н	2200	2750	5,826		20	13,62
СП4	АВМ-10Н	600	750	5,841		20	13,57
СП5	АВМ-10Н	1500	1875	6,46		20	14,17

2 вариант						
ШМА1	Э25	5000	6250	7,915	45	19,29
ШМА2	Э25	5000	6250	7,715	45	19,29
ШРА1	АВМ-4Н	900	1125	2,544	20	13,89
ШРА2	АВМ-10Н	1600	2000	3,725	20	14,44
ШРА3	АВМ-10Н	1600	2000	3,76	20	14,53
СП1	АВМ-10Н	900	1125	2,061	20	5,93
СП2	АВМ-4Н	600	750	2,952	20	9,61
СП3	АВМ-15Н	2200	2750	5,906	20	13,7
СП4	АВМ-10Н	600	750	5,841	20	13,57
СП5	АВМ-10Н	1500	1650	6,46	20	6,65
СП6	АВМ-10Н	2000	2200	6,129	20	13,15
СП7	АВМ-4Н	800	1000	5,415	20	12,07
СП8	АВМ-4Н	800	1000	3,039	20	7,53

Согласование предохранителей с выбранными сечениями.

Таблица – Проверка предохранителей

Номер электроприёмника на плане	Марка предохранителя	$I_{вст}, А$	$I_{вст} \cdot K_{з,о}, А$	$I^{(1)}_{п0}, А$
1–13	ПН2-100	100	300	1301
14–19	ПН2-250	150	450	
20–25	ПН2-100	100	300	
26	ПН2-250	200	600	
27	ПН2-250	200	600	2582
28–40	ПН2-250	250	750	
41–44	ПН2-250	250	750	
49–53	ПН2-250	200	600	
64–66	ПН2-250	200	600	2668
45–48	ПН2-250	250	750	
54–61	ПН2-250	150	450	
67, 68	ПН2-250	250	750	
69,70	ПН2-100	80	240	1137
71–73	ПН2-100	60	180	
77, 78	ПН2-100	40	120	
79, 80	ПН2-100	60	180	
81, 82	ПН2-100	100	300	1137
83, 84	ПН2-250	120	360	
74–76	ПН2-100	80	240	
85–90	ПН2-400	300	900	
91–93	ПН2-250	250	750	4766
94–96	ПН2-250	250	750	4412
97–99	ПН2-250	250	750	4769
100–103	ПН2-250	250	750	4412
104, 105	ПН2-630	630	1890	1943
106–109	ПН2-400	300	900	
110, 111	ПН2-250	150	450	
112–114	ПН2-250	200	600	2443
115–117	ПН2-250	250	750	
118, 119	ПН2-250	150	450	

Выбор оптимального варианта низковольтного электроснабжения.

При выборе вариантов, для уменьшения объема работ, сравнение идет только по меняющимся частям проекта. Следовательно, т.к. 1 и 2 варианты отличаются только по участку сборочной площадки и месту расположения СПЗ, то сравнение вариантов будем проводить по этим участкам.

При выборе оптимального варианта необходимо учитывать капитальные вложения и издержки, которые включают в себя отчисления на эксплуатацию, ремонты, амортизацию и стоимость потерь электроэнергии.

Таблица – Капиталовложения с учетом потерь для каждого варианта

Проводник	Сечение (марка), мм ²	L [М]	К [руб/м]	Сумма [тыс.руб.]
Первый вариант				
ШРА4	ШРА73У3, 250 А	18,39	15,5	285,2
ШРА5	ШРА73У3, 250 А	18,39	15,5	285,2
КЛ ШМА1-ШРА4	3x95	2,5	1,99	4,97
КЛ ШМА1-ШРА5	3x95	2,5	1,07	2,67
КЛ ШМА2-СПЗ	3•(3x185)	22	10,07	221,75
85-87	2•(3x70)	6,5	3,25	21,19
94-96	3x150	33,9	2,8	95,25
100-102	3x150	15,6	2,8	43,83
104, 105	2•(3x70)	9,39	3,25	30,64
106-109	3x50	42,59	1,34	57,08
110, 111	3x25	17,1	0,83	14,36
112-114	3x35	21,7	1,07	23,21
115-117	3x50	31	1,34	41,54
118	3x25	8,8	0,83	7,39
Потери		117632,3	0,02	3429,76
Капитальные затраты				1132,84
Среднегодовые эквивалентные расходы				3627
Второй вариант				
КЛ ШМА1-СП6	3x240	4,69	4,21	19,83
КЛ ШМА1-СП7	3x70	4,69	1,62	7,66
КЛ ШМА1-СП8	3x70	23,29	1,62	37,97
КЛ ШМА1-СПЗ	3•(3x185)	29,1	10,07	293,32
85-87	2•(3x70)	23,7	3,25	77,26
94-96	3x150	22,7	2,8	63,78
100-102	3x150	23,2	0	0
104, 105	2•(3x70)	19,2	3,25	62,59
106-109	3x50	52,5	1,34	70,34
110, 111	3x25	28,39	0,83	23,85
112-114	3x35	22,6	1,07	24,18
115-117	3x50	19,7	1,34	26,39
118	3x25	4,69	0,83	3,94
Потери		144221	0,02	4182,4
Капитальные затраты				775,37
Среднегодовые эквивалентные расходы				4306,22

Вывод: первый вариант более экономичен.

Конструктивное исполнение схемы низковольтного электроснабжения.

Принятая цеховая электрическая сеть выполнена с использованием шинопроводов, кабельных линий и проводов.

Магистральные линии выполнены закрытыми комплектными шинопроводами, поставляемыми в виде отдельных сборных секций, которые представляют собой три или четыре шины, заключенные в оболочку и скрепленные самой оболочкой. Для выполнения прямых участков линий служат прямые секции, для поворотов – угловые, для присоединений – присоединительные и для подгонки длины – подгоночные. Соединение секций на месте выполняют сваркой.

Для главных магистралей использованы комплектные шинопроводы типа ШМА68-НУЗ с номинальным током 2500 А. Данные магистральные шинопроводы прикреплены на высоте 3—4 м над полом помещения на кронштейнах. Это обеспечивает небольшую длину спусков к распределительным магистральям и силовым РП.

Распределительные магистрали выполнены комплектными шинопроводами серий ШРА73УЗ с номинальными токами 250 и 630 А. Отдельные приемники подключены к ШРА через ответвительные коробки кабелем или проводом, проложенным в трубах. На каждой секции ШРА длиной 3 м имеется восемь ответвительных коробок (по четыре с каждой стороны) с автоматическими выключателями серии АВМ. Для штепсельного присоединения ответвительных коробок на секциях шинопровода предусмотрены окна с автоматически закрывающимися шторками. Это обеспечивает безопасное присоединение коробок к шинопроводу, находящемуся под напряжением в процессе эксплуатации. При открывании крышки коробки питание приемника электроэнергии прекращается.

Присоединение ШРА к магистральному шинопроводу осуществлено кабельной перемычкой, соединяющей вводную коробку ШРА с ответвительной секцией ШМА. Крепление шинопроводов типа ШРА выполнено на стойках на высоте 3,5 м над полом.

Кабели применены для питания мощных ЭП и узлов нагрузок. Прокладываются кабели в стальных трубах, проложенных в полу. Провода для питания отдельных маломощных ЭП также проложены в стальных трубах в полу. Электропроводки в трубах являются самыми надежными.

Выбор типа КТП и её конструктивное исполнение.

Комплектная трансформаторная подстанция – электрическое устройство, служащее для приема, преобразования и распределения электроэнергии трехфазного переменного тока и состоящее из трансформаторов, распределительного (или вводного) устройства высшего напряжения, комплексного распределительного устройства низшего (или среднего) напряжения, токопроводов, поставляемых в собранном или подготовленном для сборки виде. По известным номинальному напряжению и мощности трансформаторов принимаем к установке КТПН-1600 /2, с. 537/.

Данная двухтрансформаторная КТП предназначена для приема, распределения и преобразования электрической энергии трехфазного тока частотой 50 Гц. КТП пристроена к зданию механического цеха.

Кроме масляных трансформаторов ТМ–1600/10 в комплект КТП входит вводной шкаф на напряжение 10 кВ. В помещении КТП также установлены комплектные конденсаторные установки.

От каждого трансформатора питается по одному магистральному шинопроводу, и к каждому трансформатору присоединяется только по одной ККУ. ККУ подключаются к шинам цеховой ПС с использованием соответствующего автоматического выключателя подстанции.

На пристроенной КТП должен быть устроен маслоприемник, вмещающий не менее 20% полного объема масла в трансформаторе, с отводом в маслосборник или заглубленный маслоприемник без отвода масла, рассчитанный на 100% его объема. Площадь маслоприемника должна быть больше площади основания трансформатора КТП.

Комплекты домашних заданий, контрольных работ.

При изучении дисциплины предусмотрено выполнение семи индивидуальных домашних заданий для студентов очной формы обучения и одной контрольной работы для студентов заочной и сокращенной заочной форм обучения. Индивидуальные домашние задания выполняются с помощью ПК MathCad, Zapus, САПР «Карат» и графического редактора Visio.

Контрольная работа для студентов заочной и сокращенной заочной форм обучения предусматривает выполнение задач по низковольтному электроснабжению.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Целью выполнения контрольных заданий является изучение, закрепление и систематизация учебного материала по курсу: выработка навыков самостоятельного решения инженерных задач по специальности.

СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Контрольные задания № 1 и 2 включают по две задачи на тему: «Электроснабжение промышленных предприятий на напряжение до 1000 В». контрольные задания № 3-5 включают по одной задаче на тему «Электроснабжение промышленных предприятий на напряжение выше 1000 В».

Исходные данные для решения задач принимаются по таблицам варианты в соответствии с шифром (табл. 1) или по номерам варианта, выдаваемых преподавателем каждому студенту в отдельности. Перед решением задачи обязательно должны быть указаны номера вариантов и шифра, а также приведено условие задачи.

Оформление рисунков и результатов решения задач осуществляется в соответствии с действующими ГОСТ и ЕСКД, основные правила оформления результатов контрольных заданий приведены в /12/.

Если при выполнении задач студент обнаружит в исходных данных и в указаниях по выполнению контрольного задания отсутствие некоторых необходимых данных для решения, их следует принять по справочникам, ГОСТ, каталогам и т.д. с обязательной ссылкой на источник.

Консультация по выполнению контрольных заданий организовываются в период сессий 9-го и 10-го семестров, а также еженедельно в соответствии с расписанием; кроме того, ведущий преподаватель проводит письменные консультации.

Выполненные контрольные задания в соответствии с графиком предоставляются на кафедру до начала экзаменационных сессий для передачи ведущему преподавателю на рецензирование. Во время сдачи экзамена (зачета) студент должен представить выполненные и зачтенные контрольные задания экзаменатору с проработанными замечаниями рецензента. После сдачи студентами экзамена по разделу курса контрольные задания остаются на кафедре.

№	Шифр	№	Шифр	№	Шифр	№	Шифр	№	Шифр
1	3643	8	5314	15	3561	22	2315	29	6421
2	2113	9	1234	16	6542	23	3465	30	3333
3	2241	10	5513	17	2651	24	5623	31	2222
4	6152	11	2456	18	5431	25	2354	32	1111
5	1124	12	1345	19	4322	26	4214	33	5555
6	6363	13	1653	20	4136	27	4616	34	4444
7	6255	14	3262	21	3146	28	4532	35	6666

Примечание:

- 1) № - номер варианта задаваемый преподавателем
- 2) Определение исходных данных для решения задач соответствующего варианта осуществляется следующим образом: по первой цифре осуществляется выборка из первой строки, по второй – из второй строки, по третьей из третьей строки, по четвертой из четвертой строки таблицы сходных данных и задач.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ 1

ЗАДАЧА №1. По результатам определения расчетной нагрузки (средней за наиболее загруженную смены - P_{CM} и Q_{CM} и расчетной - P_p и Q_p) задачи 1 контрольного задание №1

методом коэффициента расчетной нагрузки с использованием точной формулы определения произвести выбор числа и мощности трансформаторов КТП мощность компенсирующих устройств их тип, место установки (по напряжению). Составить схему КТП с указанием параметров условного электрооборудования подстанции и РУ – 0,4 кВ

№		1	2	3	4	5	6
1	Площадь цеха, м ²	3000	6000	4000	5000	3500	4500
2	Стоимость потери мощности (C ₀), руб. кВт-год	70	65	60	70	65	60
3	Стоимость вводного устройства батарей конденсаторов, руб.						
	U _H =380 В	700	750	800	700	800	750
	U _H =10,0 кВ	300	250	350	250	300	350

Примечание: Считать, что потребители электроэнергии относятся к III категории по бесперебойности электроснабжения. Мощность осветительной нагрузки определить по удельной мощности P₀=0,02 кВт/м². Номинальное напряжение распределительной сети U_H=10,0 кВ, синхронные электродвигатели отсутствуют. Удельную стоимость конденсаторных установок K_y – принять равной: K_{y10,0 кВ}=6 руб./квар. K_{y0,36 кВ}=12 руб./квар. Удельные потери P_y в конденсаторах принять равными P_{y10,0 кВ}=2,5 кВт./квар. P_{y0,36 кВ}=4,5 кВт/квар. Число часов использования максимума нагрузки T_M=4500 ч/год. Стоимость КТП принять по табл.

РУ-0,38 кВ КТП	Характеристика трансформаторов	Установленная мощность трансформаторов КТП, кВА							
		630	2*630	1000	2*1000	1600	2*1600	2500	2*2500
Шкафы НН с автоматами типа “электрон”	Тр-р масляный	-	-	13400	31260	14660	33760	-	-
	Тр-р совтоловый	14400	33240	16700	37860	19800	44040	27960	59880
Шкафы НН с автоматами типа АВМ	Тр-р масляный	5160	11610	6320	13910	-	-	-	-
	Тр-р совтоловый	7300	15890	9620	20510	-	-	-	-

Методические указания к решению задачи

Предполагается, что проектируется трансформаторная подстанция для группы электроприемников без взаимоувязки решения с данными посторонней нагрузки и требованиями по компенсации реактивной мощности в целом по предприятию. Расчеты производить, сравнивая два варианта выполнения подстанции: 1) установка одного трансформатора; 2) – двух. Выбор компенсирующих устройств, их мощности и места установки (на низком или высоком напряжении) осуществлять из предложения экономической загрузки трансформаторов средней мощностью за наиболее загруженную смену (В среднем можно принят K_з= 0,75). Потери в трансформаторах рассчитываются по максимальной мощности.

Предполагается схема КТП без РУ – 10 кВ, при этом в случае необходимости, установка конденсаторных батарей на напряжении 10 кВ осуществлять на шинах 10 кВ ГПП (ПГВ); число конденсаторных батарей стандартной мощности на напряжениях 10 кВ и 0,38 кВ принимать равным числу трансформаторов КТП.

Сравнения вариантов осуществлять по приведенным народнохозяйственным затратам, включающим приведенные капитальные затраты на КТП, на конденсаторные установки, их регулирующие и вводные устройства, а также стоимость потерь электроэнергии в трансформаторах и конденсаторах.

Примеры выбора числа и мощности трансформаторов КТП и определения мощности компенсирующих устройств представлены /1,5,6/.

ЗАДАЧА 2.

Для схемы приведенной на рисунке:

- 1) рассчитать номинальный ток магистрального шинопровода (ШМА), выбрать его тип, способ прокладки, а также способ прокладки распределительного шинопровода (ШРА);
- 2) рассчитать сечение кабеля (провода) от распределительного шинопровода к электроприемнику (ЭП)
- 3) рассчитать токи однофазного и трехфазного короткого замыкания в точках указанных на схеме;
- 4) построить карту селективности защиты на напряжении 0,38кВ в цепи КТП – ЭП, установив защитные аппараты в точках 1, 2, 3, 4.

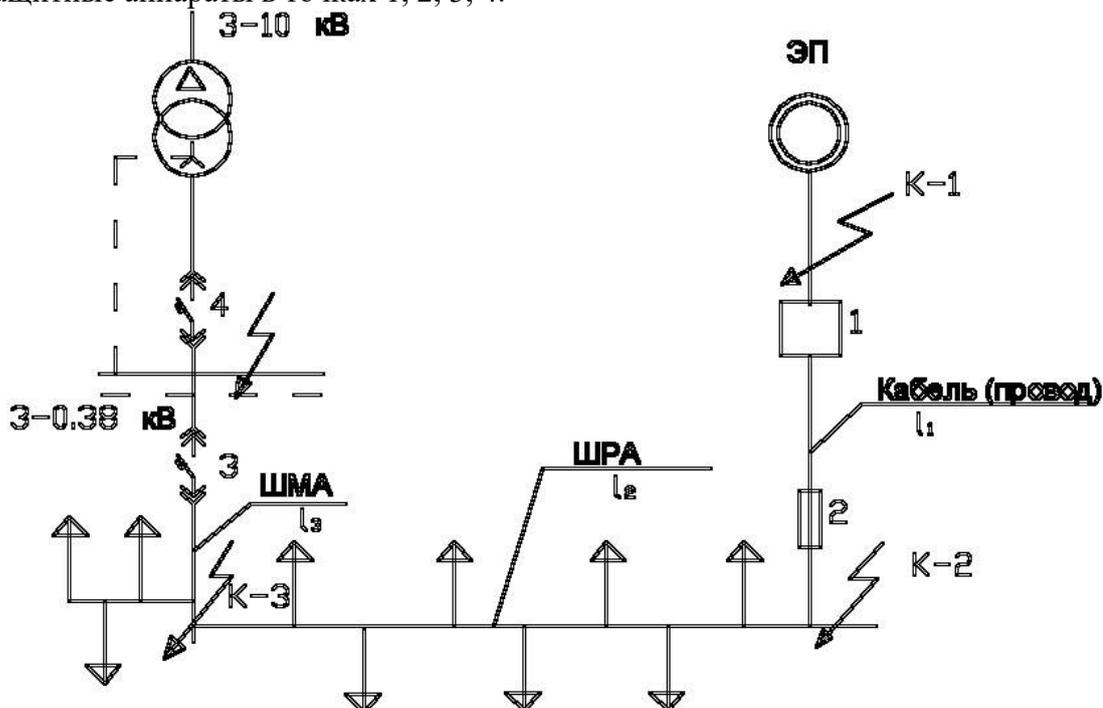


Рис. Схема электроснабжения участка цеха.

Здесь: 1 – магнитный пускатель или контактор 2 – предохранитель
3 – автоматические выключатели 4 – автоматические выключатели

В качестве наибольшего ЭП принять электродвигатель насоса, мощность его принять равной в соответствии с исходными данными к задаче 1 контрольного задания №1. Считать мощность ЭП наибольшей из имеющихся в цехе электроприемников.

Расчетную нагрузку распределительного шинопровода типа ШРА-73 определить по номинальному току и коэффициенту загрузки его, представленным в табл. 6. Расчетную нагрузку магистрального шинопровода принять равной полной или половине максимальной расчетной нагрузки (в зависимости от числа трансформаторов КТП, рассчитано в задаче 1 контрольного задания №2, определенной в задаче 1 контрольного задания №1). Протяженности кабеля (провода) и шинопроводов представлены в табл. 6. Мощность короткого замыкания на высокой стороне трансформатора КТП принять равной $S_{\infty}=S_{П0}=200\text{MVA}$.

Таблица 6

Исходные данные к решению задачи

№ №	Характеристики элементов сети	1	2	3	4	5	6
1	1) номинальный ток ШРА-73, А	250	400	630	250	400	630
	2) коэффициент загрузки ШРА-73	0,7	0,8	0,85	0,85	0,7	0,8
2	Протяженность кабеля l_1	5	8	10	12	15	17
3	Протяженность ШРА-73, l_2	40	35	30	25	20	15
4	Протяженность ШМА, l_3	20	30	40	50	60	70

Методические указания к решению задачи

Выбор типа и способов прокладки и шинопроводов и кабелей осуществлять с учетом окружающей среды, характерной для металлообрабатывающих цехов. Сечение провода (кабеля) выбрать в соответствии с требованиями ПУЭ/10/, т.е. по условиям нагрева с проверкой по допустимой потере напряжений.

При расчете допустимой потери напряжений на участке сети КТП-ЭП принять, что в максимальном режиме на шинах 0,38 кВ КТП поддерживается напряжение равное $1,05 U_n$ в режиме максимальных нагрузок - U_n .

После расчетов токов однофазного и трехфазного короткого замыкания и выбора номинального тока плавки и вставки, для предохранителя и уставок расцепителей автоматических выключателей, необходимо произвести проверку выбранного сечения кабеля (провода) на защищаемость и по коэффициенту чувствительности.

На карту селективности должны быть нанесены значения максимальных расчетных и пиковых токов кабеля (провода), распределительного и магистрального шинопроводов, значения токов трехфазного короткого замыкания в токах 1,2,3,4, а также токовременные характеристики выбранных защитных аппаратов 2,3,4.

Примеры расчета низковольтных сетей представлены в /1,6,8/, построения карты селективности – в /1/.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ 2

Задача 1.

Произвести расчет электрической сети механического цеха.

Выбрать и проверить сечения проводников (проводов, кабелей, шинопроводов), выбрать марки и уставки защитной аппаратуры и проверить их на чувствительность к токам короткого замыкания, предварительно рассчитав требуемые значения токов КЗ.

Для выбора мощности силового трансформатора 10 / 0,4 кВ ТП использовать результаты расчета первой задачи.

Схема сети приведена на рисунке.

Требуемые исходные данные в таблице.

В качестве электроприемников используются асинхронные двигатели с легким пуском.

Выбрать АВ, номер которого соответствует номеру варианта.

Таблица

№ варианта	Номера элементов схемы				Расчетные токи проводников, А		Длины проводников, А			Характеристика ЭП				$K_{н\text{ ср}}$	$I_k^{(3)}$, кА	$S_{тр}$, кВА
	ШП, кабель	Авто-мат	ЭП	Предо-хранитель	ШМА	ШРА, ШОС, КЛ	ШМА	ШРА, ШОС, КЛ	Провод к ЭП	$P_{ном}$, кВт	$\cos \phi_n$	КПД	Кратность пуска			
1	ШРА-1	QF 3	M 2	F 2	1150	270	10	18	6	8	0.88	0.89	5	0.3	10	1000
2	ШРА-2	QF 4	M 5	F 5	1300	190	15	27	7	10	0.89	0.9	6	0.28	12	1600
3	ШРА-3	QF 5	M 9	F 9	2400	350	20	32	8	12	0.87	0.91	7	0.31	8	2500
4	КЛ	QF 6	M 12	F 12	2100	80	7	9	5	15	0.85	0.89	6	0.22	9	2500
5	ШОС	QF 7	M 1	F 1	890	90	18	21	9	18	0.88	0.92	7	0.18	11	630
6	ШРА-1	QF 3	M 3	F 3	1200	420	12	19	10	25	0.86	0.91	5	0.31	10.5	1000
7	ШРА-2	QF 4	M 6	F 6	1220	510	16	17	11	23	0.87	0.88	6	0.27	13	1000
8	ШРА-3	QF 5	M 8	F 8	1920	290	21	15	12	22	0.88	0.9	7	0.24	14	2500
9	КЛ	QF 6	M 11	F 11	1830	30	9	13	8	24	0.89	0.89	5	0.25	9.5	1600
10	ШОС	QF 2	M 7	F 17	1240	40	23	12	7	19	0.9	0.9	6	0.33	11.4	1000
11	ШРА-1	QF 1	M 4	F 4	1800	220	29	16	6	32	0.91	0.92	7	0.28	8.4	2500
12	ШРА-2	QF 4	M 5	F 5	2100	580	17	24	9	30	0.88	0.88	5	0.25	12	1600

Задача №2

Выбрать магистральный шинопровод и произвести расчет электрической сети 0,4 кВ, указанный на рис.1. Выбрать и проверить сечения проводников, указанных в табл.2, выбрать и проверить марки и уставки защитной аппаратуры, предварительно рассмотрев токи КЗ. Номера выбираемой аппаратуры приведены в табл.2. В качестве ЭП используются АД с легким пуском. В табл.2 указаны ЭП, являющиеся наиболее мощными для данного участка сети. Исходные данные приведены в табл.2.

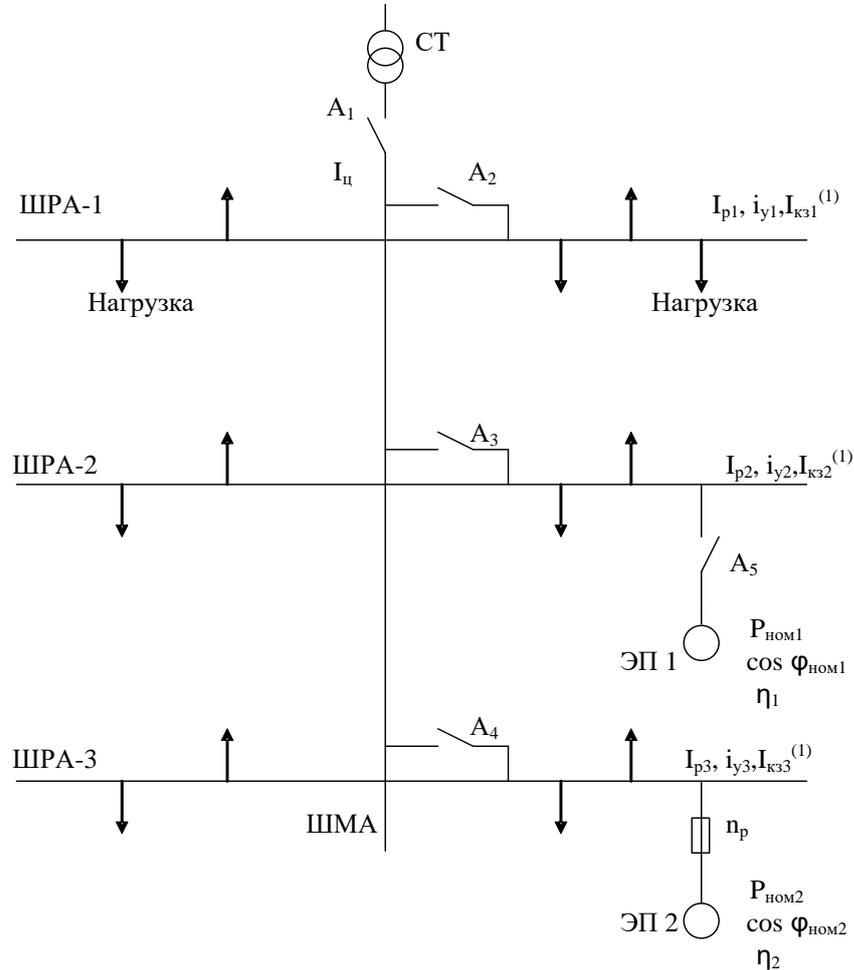


Рис.1

Таблица 2

№ варианта	Расчетные токи шинопроводов и цеховая нагрузка				Ударные токи КЗ по шинопроводам			ЭП 1			ЭП 2		
	$I_{ц}, A$	I_{p1}, A	I_{p2}, A	I_{p3}, A	$i_{y1}, кА$	$i_{y2}, кА$	$i_{y3}, кА$	$P_{ном1}, кВт$	$\cos \varphi_{ном1}$	КПД η_1	$P_{ном2}, кВт$	$\cos \varphi_{ном2}$	КПД η_2
1	980	180	204	168	4,6	4,2	4,0	8	0,88	0,89	16	0,85	0,88
2	1150	240	287	135	4,2	4,0	3,8	10	0,89	0,9	15	0,86	0,89
3	1300	320	380	174	3,8	3,6	3,4	12	0,87	0,91	13	0,87	0,9
4	2400	600	450	330	2,5	2,2	2,0	17,5	0,86	0,88	18	0,88	0,88
5	2100	610	310	207	4,0	3,8	3,5	15	0,85	0,89	19	0,89	0,91
6	2300	181	590	420	4,3	4,0	3,7	9	0,88	0,9	21	0,9	0,88
7	760	132	208	174	3,9	3,6	3,3	18	0,87	0,88	20	0,89	0,89
8	890	215	144	267	2,8	2,5	2,2	25	0,86	0,91	23	0,88	0,9
9	1240	244	440	159	3,6	3,3	3,1	28	0,89	0,9	30	0,87	0,91
10	1890	333	248	174	4,4	3,9	3,5	23	0,85	0,89	29	0,86	0,88
11	1680	510	407	122	4,1	3,7	3,3	21	0,88	0,91	25	0,85	0,89
12	2150	296	481	603	3,7	3,3	3,1	27	0,89	0,88	24	0,9	0,9
13	1910	331	285	413	3,5	3,2	2,9	22	0,86	0,9	26	0,88	0,91
14	1830	610	375	189	4,7	4,1	3,8	24	0,87	0,89	32	0,89	0,89
15	1210	550	461	209	4,5	4,0	3,7	19	0,89	0,91	33	0,87	0,88

Примеры решения задач

Задача 1

По результатам определения расчетной нагрузки (P_p, Q_p) задачи 1 контрольного задания №1 методом упорядоченных диаграмм, произвести выбор числа и мощности трансформаторов КТП, мощность компенсирующих устройств, их тип и место установки (по напряжению). Составить схему КТП с указанием параметров основного электрооборудования ПС и РУ 0,4 кВ.

Площадь цеха $S_{ц} = 3000 \text{ м}^2$.

Стоимость потерь мощности $C_0 = 70 \text{ руб/кВт-год}$.

Стоимость вводного устройства батарей конденсаторов

$U_{н10} = 3000 \text{ руб}; U_{н0,38} = 600 \text{ руб}$.

Стоимость регулирующего устройства батарей

Конденсаторов $U_{н10} = 700 \text{ руб}; U_{н0,38} = 250 \text{ руб}$.

$P_p = 509 \text{ кВт}; Q_p = 344,5 \text{ кВт}; S_p = 621,3 \text{ кВт}$.

Потребители III категории.

Мощность осветительной нагрузки определить по удельной мощности $P_0 = 0,02 \text{ кВт/м}^2$.

Номинальное напряжение распределительной сети $U_n = 10 \text{ кВ}$, синхронные электродвигатели отсутствуют. Удельную стоимость конденсаторных установок K_u принимать равной:

$K_{u10} = 6 \text{ руб/квар}; K_{u0,38} = 12 \text{ руб/квар}$. Удельные потери

$P_{y10} = 2,5 \text{ кВт/квар}; P_{y0,38} = 4,5 \text{ кВт/квар}$. Число часов использования максимума нагрузки $T_m = 4500 \text{ ч/год}$. Стоимость КТП принимать по таблице 5 задания.

Расчетная мощность цеха с учетом осветительной нагрузки

$$P_{рц} = P_p + P_0 = 509 + 60 = 569 \text{ кВт}$$

где $P_0 = P_0 \cdot S_{ц} = 0,02 \cdot 3000 = 60 \text{ кВт}$

Рассмотрим варианты установки одного и двух трансформаторов на ПС

$$\text{Для одного тр-ра } S_T \geq \frac{P_{рц}}{K_3 \cdot N_T} \geq \frac{569}{0,75 \cdot 1} \geq 758,7 \text{ кВт}$$

Где $K_3 = 0,75$.

Выбираем трансформатор $S_{ном} = 1000 \text{ кВа}$

$$\text{Для двух тр-ров } S_T \geq \frac{P_{рц}}{K_3 \cdot N_T} \geq \frac{569}{0,75 \cdot 2} \geq 379 \text{ кВт}$$

Выбираем 2 трансформатора $S_{ном} = 400 \text{ кВа}$

Определяем реактивную мощность, которую можно передать в сеть 0,38 кВ из сети 10 кВ через трансформатор

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_3 \cdot S_T)^2 - P_{рц}^2}$$

для одного трансформатора

$$Q_{T1} = \sqrt{(1 \cdot 0,75 \cdot 1000)^2 - 569^2} = 488,6 \text{ квар}$$

для двух трансформаторов

$$Q_{T2} = \sqrt{(2 \cdot 0,75 \cdot 400)^2 - 569^2} = 190,4 \text{ квар}$$

Определяем мощность низковольтных батарей конденсаторов (НБК).

$$Q_{нк\sum} = Q_{нк1} + Q_{нк2}$$

$$Q_{нк1} = Q_{рц} - Q_T$$

$$Q_{нк2} = Q_{рц} - Q_{нк1} - \gamma \cdot N_T \cdot S_T$$

где γ – расчетный коэффициент, зависящий от параметров

K_{p1} , и K_{p2} , определяется из графиков /2/стр.107

K_{p1} -Таб.4.6 /2/стр.108; $K_{p1} = 9$

K_{p2} -Таб.4.7 /2/стр.109 $K_{p2} = 27(1), =17(2)$

$$\gamma_1 = 0,26 \quad \gamma_2 = 0,26$$

Qнк1- суммарная мощность КБ

Qнк2- дополнительная мощность КБ
для одного трансформатора

$$Q_{нк1} = 569 - 488,6 = 80,4 \text{ квар}$$

$$Q_{нк2} = 569 - 80,4 - 0,26 \cdot 1 \cdot 1000 = 228,6 \text{ квар}$$

$$Q_{нк\Sigma} = 80,4 + 228,6 = 309 \text{ квар}$$

Выбираем УКЛ(П) Н-0,38-300-50УЗ с автоматическим регулированием по напряжению./2/стр.220, таб.9.2

для двух трансформаторов $Q_{нк1} = 569 - 190,4 = 378,6 \text{ квар}$

$$Q_{нк2} = 569 - 378,6 - 0,26 \cdot 2 \cdot 400 < 0 (-17,6) \text{ квар}$$

$$Q_{нк\Sigma} = 378,6 + 0 = 378,6 \text{ квар}$$

Выбираем 2 шт УКЛ(П) Н-0,38-150-50УЗ с автоматическим регулированием по напряжению.

Определяем мощность высоковольтных батарей конденсаторов (ВБК).
Нескомпенсированная реактивная нагрузка для одного трансформатора

$$Q_{неск} = Q_{Т1} - Q_{нк\phi} + \Delta Q_{Т}$$

где $\Delta Q_{Т}$ - потери в трансформаторе с учетом загрузки = 41 квар

$$Q_{неск} = 488,6 - 300 + 41 = 229,6 \text{ квар}$$

$$Q_{вбк} = Q_{неск} - Q_{\text{э}}$$

где $Q_{\text{э}} = P_{рц} \cdot \text{tg}\varphi = 569 \cdot 0,3 = 170,7$

$$Q_{вбк} = 229,6 - 170,7 = 59 \text{ квар}$$

Выбираем КС2-10,5-50 по /3/ стр231

для двух трансформаторов $Q_{неск} = 190,4 - 300 + 41 < 0 \text{ квар}$

$$Q_{вбк} < 0 \text{ квар}$$

Определим затраты на БК

При одном трансформаторе

$$З_{бк} = K_{у10} \cdot Q_{вбк} + K_{у0,38} \cdot Q_{нбк} = 6 \cdot 50 + 12 \cdot 300 = 3900 \text{ руб}$$

для двух трансформаторов

$$З_{бк} = K_{у10} \cdot Q_{вбк} + K_{у0,38} \cdot Q_{нбк} = 6 \cdot 0 + 12 \cdot 300 = 3600 \text{ руб.}$$

Определим суммарные приведенные затраты по выражению

$$З = E \cdot (K_{тр} + K_{бк}) + C = E \cdot K_{ТП} + K_{ву_{нбк}} + E \cdot K_{у0,38} \cdot Q_{нбк} + K_{ву_{вбк}} +$$

$$+ E \cdot K_{у10} \cdot Q_{вбк} + C_0 \cdot \Delta R_{тр} + P_{у_{нбк}} \cdot C_0 \cdot Q_{нбк} + P_{у_{вбк}} \cdot C_0 \cdot Q_{вбк}$$

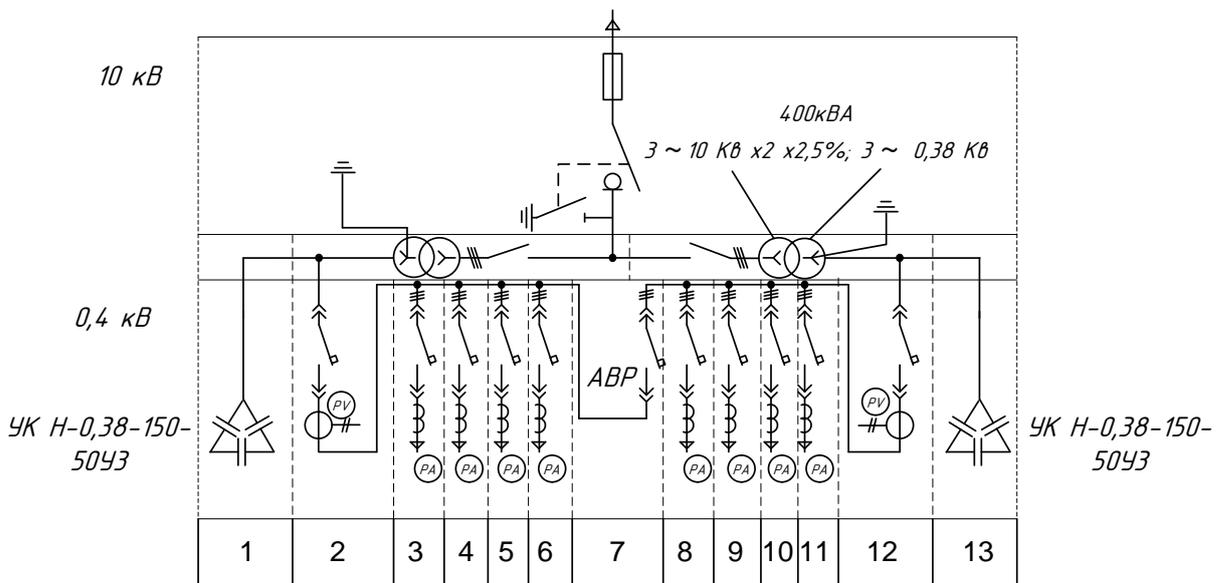
где: E – коэффициент ежегодных отчислений на капитальные вложения

$K_{ТП}$ – стоимость трансформаторной подстанции

C – стоимость потерь эл.энергии в тр-рах и БК

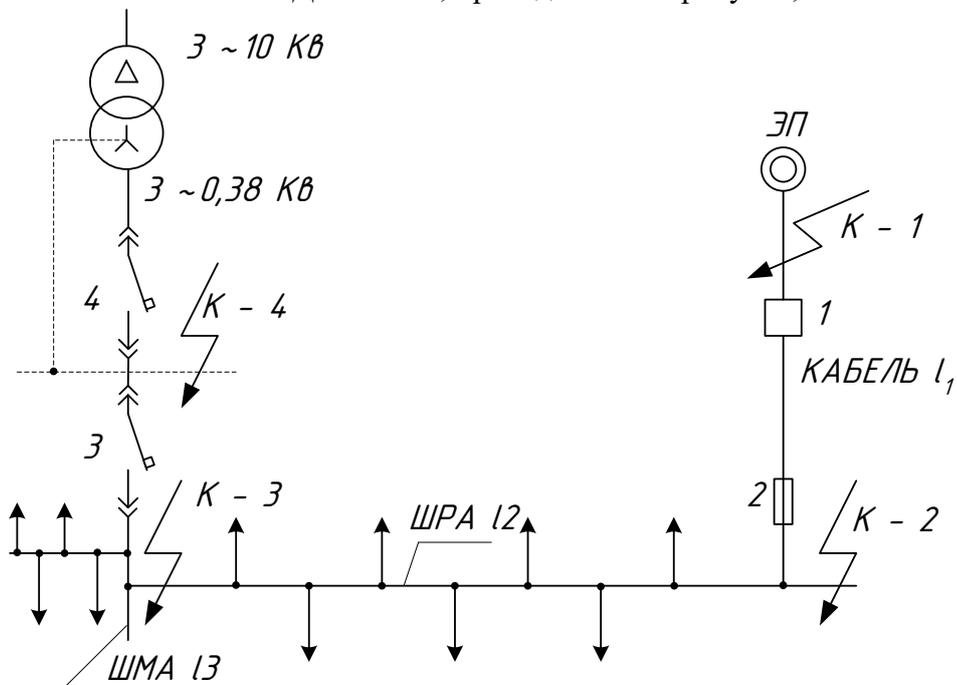
$$\Delta R_{тр} = \Delta R_{\text{х}} + K_{з}^2 \cdot \Delta R_{\text{к}} \quad /2/стр86$$

Для варианта с одним трансформатором приведенные затраты составляют 109729 руб. Для варианта с двумя трансформаторами приведенные затраты составляют 103744 руб. На основании сравнения двух вариантов выбора числа и мощности трансформаторов КТП и мощности КУ, в качестве оптимального выбираем второй вариант с двумя трансформаторами мощностью по 400 кВА каждый.



Задача 2

Для схемы, приведенной на рисунке,



- | | | |
|----|--|-----|
| 1. | Номинальный ток ШРА-73, (А) | 250 |
| 2. | Коэффициент нагрузки ШРА-73 | 0,7 |
| 3. | Протяженность кабеля (провода), l_1 , (км) | 5 |
| 4. | Протяженность ШРА-73, l_2 , (км) | 35 |
| 5. | Протяженность ШМА, l_3 , (км) | 50 |
| 6. | $S_\infty = S''$, (МВА). | 220 |
| 7. | ЭП, (кВт) | 105 |
| 8. | Мощность трансформатора, (кВА) | 400 |

1. Рассчитать номинальный ток магистрального шинопровода (ШМА), выбрать его тип, способ прокладки, а также способ прокладки распределительного шинопровода (ШРА);
2. Рассчитать сечение кабеля (провода) от распределительного шинопровода к электроприемнику (ЭП);

3. Рассчитать токи однофазного и трехфазного короткого замыкания в точках, указанных на схеме;
 4. Построить карту селективности защиты на напряжении 0,38 кВ в цепи КТП-ЭП, установив защитные аппараты в точках 1,2,3,4.

1. Рассчитаем сечение кабеля (провода) от ШРА к ЭП.

Определим номинальный ток ЭП

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot \cos\varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{105}{\sqrt{3} \cdot 0,88 \cdot 0,9 \cdot 0,38} = 201,4 \text{ А}$$

Сечение кабеля выбирается по нагреву длительным расчетным током.

$$I_{\text{к.доп}} \geq \frac{I_p}{K_1 \cdot K_2}$$

где $K_1=1$; $K_2=0,87$

$$I_{\text{к.доп}} \geq \frac{201,4}{0,87} = 231,5 \text{ А}$$

Примем сечение жилы кабеля 95 мм² с длительно допустимой токовой нагрузкой 255А.
 Выбираем кабель с алюминиевыми жилами и пластмассовой изоляцией.

2. Расчет токов КЗ.

Определим сопротивление системы $X_c = \frac{U_{\text{ср}}^2}{S_{\text{КЗ}}} = \frac{0,38^2}{200} = 0,72 \text{ МОм}$

Полное сопротивление силового трансформатора

$$Z_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{к}} \cdot U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{ном.т}}} = \frac{5,5 \cdot 0,38^2}{400} \cdot 10^4 = 19,9 \text{ МОм}$$

Активное сопротивление СТ

$$r_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{ном.т}}^2} = \frac{5,4 \cdot 0,38^2}{400^2} \cdot 10^6 = 5,4 \text{ МОм}$$

Индуктивное сопротивление СТ

$$X_{\text{тр}} = \sqrt{Z_{\text{тр}}^2 - r_{\text{тр}}^2} = \sqrt{19,9^2 - 5,4^2} = 19,15 \text{ МОм}$$

Сопротивление автоматического выключателя QF₁

$$X_{\text{расц}}=0,08 \text{ МОм}; r_{\text{расц}}=0,1 \text{ МОм}; r_{\text{конт}}=0,15 \text{ МОм}$$

Сопротивление шин от выводов СТ до сборных шин 0,38 кВ КТП

$$X_{\text{ш.кТП}}=0,06 \text{ МОм}; r_{\text{шкТП}}=0,1 \text{ МОм}$$

Сопротивление QF₂=QF₁

Сопротивление ШМА

$$r_0=0,031 \text{ МОм/м} \quad r_{\text{ф-о}}=0,072 \text{ МОм/м}$$

$$X_0=0,017 \text{ МОм/м} \quad X_{\text{ф-о}}=0,098 \text{ МОм/м}$$

$$X_{\text{шма}}=X_0 \cdot l_{\text{шма}} = 0,017 \cdot 50 = 0,85 \text{ МОм}$$

$$r_{\text{шма}}=r_0 \cdot l_{\text{шма}} = 0,031 \cdot 50 = 1,55 \text{ МОм}$$

Сопротивление ШРА

$$r_0=0,15 \text{ МОм/м} \quad X_0=0,17 \text{ МОм/м}$$

$$X_{\text{шра}}=X_0 \cdot l_{\text{шра}} = 0,17 \cdot 35 = 5,95 \text{ МОм}$$

$$r_{\text{шра}}=r_0 \cdot l_{\text{шра}} = 0,15 \cdot 35 = 5,25 \text{ МОм}$$

Сопротивление кабеля к ЭП

$$r_0=1,25 \text{ МОм/м} \quad X_0=0,062 \text{ МОм/м}$$

$$X_{\text{кл}}=0,062 \cdot 5 = 0,31 \text{ МОм}$$

$$r_{\text{кл}}=1,25 \cdot 5 = 6,25 \text{ МОм}$$

Сопротивление контактора $r_{\text{конт}}=1,1$ МОм; $X_{\text{конт}}=0,5$ МОм

Определяем токи 3х-фазного КЗ указанных точках.

Точка К4

Суммарное сопротивление цепи до точки КЗ

$$r_{4\Sigma} = r_{\text{тр}} + r_{\text{QF1}} + r_{\text{шкпн}} = 5.4 + 0.1 + 0.25 = 5.75 \text{ МОм}$$

$$X_{4\Sigma} = X_{\text{с}} + X_{\text{тр}} + X_{\text{QF1}} + X_{\text{шкпн}} = 0.72 + 19.15 + 0.08 + 0.06 = 20.01 \text{ МОм}$$

$$Z_{4\Sigma} = \sqrt{r_{4\Sigma}^2 + X_{4\Sigma}^2} = \sqrt{5.75^2 + 20.01^2} = 20.82 \text{ МОм}$$

Ток трехфазного КЗ при металлическом КЗ

$$I_{\text{к4}}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{4\Sigma}} = \frac{0.38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20.82} = 10.5 \text{ кА}$$

Ток трехфазного КЗ при учете переходного сопротивления в месте КЗ

$$r'_{4\Sigma} = r_{4\Sigma} + r_{\text{перех}} = 5.75 + 15 = 20.75 \text{ МОм}$$

$$Z'_{4\Sigma} = \sqrt{20.75^2 + 20.82^2} = 29.39 \text{ МОм}$$

$$I_{\text{к4}}^{(3)} = \frac{0.38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 29.39} = 7.46 \text{ кА}$$

Точка К3

Суммарное сопротивление цепи до точки КЗ

$$r_{3\Sigma} = r_{4\Sigma} + r_{\text{QF2}} + r_{\text{шма}} + r_{\text{перех}} = 5.75 + 0.25 + 1.55 + 20 = 27.55 \text{ МОм}$$

$$X_{3\Sigma} = X_{4\Sigma} + X_{\text{QF2}} + X_{\text{шма}} = 20.01 + 0.08 + 0.85 = 20.94 \text{ МОм}$$

$$Z_{3\Sigma} = \sqrt{r_{3\Sigma}^2 + X_{3\Sigma}^2} = \sqrt{27.55^2 + 20.94^2} = 34.6 \text{ МОм}$$

Ток трехфазного КЗ при металлическом КЗ

$$I_{\text{к4}}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{4\Sigma}} = \frac{0.38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 34.6} = 8.56 \text{ кА}$$

Точка К2

Суммарное сопротивление цепи до точки КЗ

$$r_{2\Sigma} = r_{3\Sigma} + r_{\text{QF2}} + r_{\text{шра}} = 27.55 + 1.7 = 29.25 \text{ МОм}$$

$$X_{2\Sigma} = X_{3\Sigma} + X_{\text{шра}} = 20.94 + 1.5 = 22.44 \text{ МОм}$$

$$Z_{2\Sigma} = \sqrt{r_{2\Sigma}^2 + X_{2\Sigma}^2} = \sqrt{29.25^2 + 22.44^2} = 36.87 \text{ МОм}$$

Ток трехфазного КЗ при металлическом КЗ

$$I_{\text{к4}}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{4\Sigma}} = \frac{0.38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 36.87} = 5.95 \text{ кА}$$

Точка К1

Суммарное сопротивление цепи до точки КЗ

$$r_{1\Sigma} = r'_{2\Sigma} + r_{\text{кл}} + r_{\text{конт}} + r_{\text{перех}} = 9,25 + 6,25 + 1,1 + 25 = 41,6 \text{ МОм}$$

где $r'_{2\Sigma} = r_{2\Sigma} - r_{\text{перех}2} = 29,25 - 20 = 9,25$

$$X_{1\Sigma} = X_{2\Sigma} + X_{\text{кл}} + X_{\text{конт}} = 22,44 + 0,31 + 0,5 = 23,25 \text{ МОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2} = \sqrt{41,6^2 + 23,25^2} = 47,66 \text{ МОм}$$

Ток трехфазного КЗ при металлическом КЗ

$$I_{к4}^{(3)} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot Z_{4\Sigma}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 47,66} = 4,6 \text{ кА}$$

Расчет однофазного КЗ.

Для расчета однофазного КЗ при наличии ШМА и ШРА учитывается сопротивление петли фаза-ноль

$$I_{к} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot \left(Z_{п} + \frac{Z_{тр}}{3} \right)}$$

где $Z_{п}$ – полное сопротивление петли

$Z_{тр} = Z_{тр1} + Z_{тр2} + Z_{тр0}$ учитываются прямая, обратная и нулевая последовательности.

Точка К4

При расчете учитываются прямая, обратная и нулевая последовательности.

Система: $X_{1c} = 0,72 \text{ МОм}$; $X_{2c} = X_{1c}$

СТ: $X_{1тр} = X_{2тр} = 19,15 \text{ МОм}$; $X_{0тр} = X_{1тр}$ – для данной схемы соединения обмоток СТ

Для остальных элементов $X_1 = X_2 = X_0$; $r_1 = r_2 = r_0$

Суммарное сопротивление цепи до точки КЗ

$$r_{4\Sigma}^{(1)} = 3r_{тр} + 3r_{QF1} + 3r_{шкпп} = 3 \cdot (5,4 + 0,25 + 0,1) = 17,25 \text{ МОм}$$

$$x_{4\Sigma}^{(1)} = 2x_c + 3r_{тр} + 3r_{QF1} + 3r_{шкпп} = 1,44 + 3 \cdot (19,15 + 0,08 + 0,06) = 59,31 \text{ МОм}$$

Ток однофазного КЗ при металлическом КЗ

$$I_{к4}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{нн}}{\sqrt{(r_{1\Sigma} + r_{2\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (x_{1\Sigma} + x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot U_{нн}}{\sqrt{(r_{4\Sigma}^{(1)})^2 + (x_{4\Sigma}^{(1)})^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 380}{\sqrt{17,25^2 + 59,31^2}} = 10,66 \text{ кА}$$

Ток однофазного КЗ при учете переходного сопротивления дуги в месте КЗ

$$r_{4\Sigma}^{(1)} = 3r_{4\Sigma'} + 3r_{перех} = 3 \cdot (5,75 + 15) = 62,25 \text{ МОм}$$

$$I_{к4}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{нн}}{\sqrt{(r_{4\Sigma}^{(1)})^2 + (x_{4\Sigma}^{(1)})^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 380}{\sqrt{62,25^2 + 59,31^2}} = 7,66 \text{ кА}$$

Точка к3

Определим полное сопротивление петли ф-0

$$X_{3п} = X_{QF1} + X_{шкпп} + X_{QF2} + X_{шмаф-0} = 0,08 + 0,06 + 0,08 + 0,85 = 1,07 \text{ МОм}$$

$$r_{3п} = r_{QF1} + r_{шкпп} + r_{QF2} + r_{шмаф-0} + r_{перех} = 0,08 + 0,06 + 0,08 + 0,85 = 22,15 \text{ МОм}$$

$$Z_{3п} = \sqrt{r_{3п}^2 + x_{3п}^2} = \sqrt{22,15^2 + 1,07^2} = 22,18 \text{ МОм}$$

Ток однофазного КЗ

$$I_{к3}^{(1)} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot \left(Z_{3п} + \frac{Z_{тр}}{2} \right)} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot \left(22,18 + \frac{3 \cdot 19,9}{3} \right)} = 5,2 \text{ кА}$$

Точка К2

$$x_{2\Sigma} = x_{3п} + x_{шпа} = 1,07 + 5,95 = 7,02 \text{ МОм}$$

$$r_{2\Sigma} = r_{3п} + r_{шпа} = 22,15 + 5,25 = 27,4 \text{ МОм}$$

$$Z_{2\Sigma} = \sqrt{r_{2\Sigma}^2 + x_{2\Sigma}^2} = \sqrt{27,4^2 + 7,02^2} = 28,28 \text{ МОм}$$

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot (Z_{2\Sigma} + r_{тр})} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot (28,28 + 19,9)} = 4,6 \text{ кА}$$

Точка К1

$$x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma} + x_{кл} + x_{конт} = 7,02 + 0,31 + 0,5 = 7,83 \text{ МОм}$$

$$r_{1\Sigma} = r_{2\Sigma} + r_{кл} + r_{конт} = 27,4 + 7,5 + 1,1 = 36 \text{ МОм}$$

Так как в качестве нулевой жилы кабеля используется труба, то сопротивление трубы определим по формуле

$$r_{т} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 10^3}{\gamma \cdot \pi \cdot (Dн^2 - Dв^2)} = \frac{4 \cdot 5 \cdot 10^3}{10,2 \cdot 3,14 \cdot (42,3^2 - 35,9^2)} = 1,25 \text{ МОм}$$

$$r_{клф-0} = r_{кл} + r_{т} = 6,25 + 1,25 = 7,5 \text{ МОм}$$

$$Z_{1\Sigma} = \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2} = \sqrt{36^2 + 7,83^2} = 36,84 \text{ МОм}$$

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot (Z_{1\Sigma} + r_{тр})} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot (36,84 + 19,9)} = 3,87 \text{ кА}$$

3. Рассчитать ток Магистрального ШП, выбрать его тип, способ прокладки.

$$I_{ршма} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{621,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 0,38} = 472 \text{ А}$$

Так как КТП двух трансформаторная, то расчетный ток делим на 2 и получим $I_p = 236 \text{ А}$. Принимаем к установке магистральный шинопровод типа ШМА-73У3 с номинальным током 1600 А, т.к. серийно на меньший ток магистральные шинопроводы не выпускаются.

Устанавливаем ШМА на стойках на высоте 4м, ШРА на высоте 3м.

Проверка выбранного сечения ШМА по потере напряжения и динамической стойкости.

Потери напряжения в главной магистрали определяют по выражению

$$\begin{aligned} \Delta U &= \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot 1 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{U_{ном}} \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi) = \\ &= \frac{\sqrt{3} \cdot 472 \cdot 50 \cdot 100 \cdot 10^{-3}}{380} \cdot (0,031 \cdot 0,84 + 0,017 \cdot 0,55) = 0,45\% \end{aligned}$$

Комплектные шинопроводы проверяют на электродинамическую стойкость по условию:

$$i_{уд} < i_{уд \text{ доп}}$$

где - $i_{уд \text{ доп}} = 70 \text{ кА}$

$$\text{Ударный ток КЗ} \quad i_{удк4} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к4}^{(3)}$$

$$\text{где } k_{yk4} = 1 + \lambda_t = 1 + e^{-0,01/Ta} = 1 + 0,42 = 1,42$$

$$Ta = \frac{x_{4\Sigma}}{\omega \cdot r_{4\Sigma}} = \frac{20,01}{314 \cdot 5,75} = 0,0118 \quad i_{удк4} = 1,42 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,5 = 21,1 \text{ кА} < 70 \text{ кА}$$

Следовательно, выбранный ШМА проходит по условиям проверки.

Для осуществления проверки по согласованию с защитой, т.е. с QF2 необходимо выбрать этот автомат. Выбираем автомат типа ВА 62 с номинальным током 630 А. Номинальный ток теплового расцепителя защищающего от перегрузки выбирается по расчетному току защищаемой линии $I_{н.расц} \geq I_p \quad 500 \geq 472 \text{ (А)}$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного расцепителя проверяется по максимальному кратковременному току ШМА $I_{ср.эл} \geq I_{пик} \cdot k$ где $k = 1,25$.

$I_{пик}$ рассчитывается при пуске насоса и нормальной работе остальных потребителей

$$I_{пик} = I_p + (K_{п} - 1)I_{макс ном} = 472 + (7 - 1) \cdot 201,4 = 1680 \text{ А}$$

Проверяем электромагнитный расцепитель по паспортным данным его тока срабатывания

$$I_{ср.эл} = 6I_{н.расц} = 3000 \text{ А}$$

Проверяем по условию $3000 > 1680 \cdot 1,25 = 2100$ – выполняется

Проверяем по согласованию теплового расцепителя с сечением ШМА

$$I_{н расц} \leq 1,5I_{дл.доп}$$

$$500 \leq 1,5 \cdot 1600 \text{ – соблюдается}$$

Проверка по чувствительности к токам КЗ

$$I_{к4}^{(1)} \geq 1,25 \cdot I_{сркз} \quad 10,66 > 1,25 \cdot 3 = 3,75 \text{ кА (метал.КЗ)}$$

$$7,66 > 3,75 \text{ кА (с учетом } \gamma_{перех})$$

Условие соблюдается, следовательно однофазное КЗ в минимальном режиме будут отключены.

Проверка сечения кабеля к ЭП по потере напряжения

$$\Delta U = e \cdot I_{ном} \cdot l = 0,53 \cdot 201,4 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0,53\% < 5\%$$

Для защиты ответвлений к одиночным двигателям при редких и легких пусках выбираем предохранитель серии ПН-2

$$I_B \geq \frac{K_{п} \cdot I_{ном.ЭП}}{2,5} = \frac{5 \cdot 201,4}{2,5} = 402,8 \text{ А /4/стр151}$$

Выбираем вставку с $I_B = 500 \text{ А}$, $I_{ном} = 600 \text{ А}$ /3/стр402.

Проверяем согласование выбранной вставки с сечением кабеля $I_B \leq 3 \cdot I_{дл.доп}$
 $500 \leq 3 \cdot 255 = 765 \text{ А – соблюдается}$

Проверяем предохранитель по чувствительности к КЗ

$$I_{к1}^{(1)} \succ 3 \cdot I_B \quad 3870 > 3 \cdot 500 = 1500 \text{ А – соблюдается, следовательно предохранитель выбран}$$

верно.

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Методические рекомендации по изучению теоретического курса

В процессе изучения лекционного материала рекомендуется использовать опорные конспекты, учебники и учебные пособия.

Подготовка к самостоятельной работе над лекционным материалом должна начинаться на самой лекции. Умение слушать, творчески воспринимать излагаемый материал - это необходимое условие для его понимания, но недостаточно только слушать лекцию. В процессе лекционного занятия необходимо выделять важные моменты, выводы, анализировать основные положения. Если при изложении материала преподавателем создана проблемная ситуация, пытаться предугадать дальнейший ход рассуждений. Это способствует лучшему усвоению материала лекции и облегчает запоминание отдельных выводов.

Однако, как бы внимательно студент не слушал лекцию, большая часть информации вскоре после восприятия будет забыта. Лекцию необходимо конспектировать. Таким образом, на лекции студент должен совместить два момента: внимательно слушать лектора, прикладывая максимум усилий для понимания излагаемого материала и одновременно вести его осмысленную запись. При этом лекция не должна превращаться в урок-диктант. Не надо стремиться подробно слово в слово записывать всю лекцию, конспектируйте только самое важное. Старайтесь отфильтровывать и сжимать подаваемый материал. По возможности записи ведите своими словами, своими формулировками.

Конспект лекций должен быть в отдельной тетради. Тетрадь для конспекта лекций также требует особого внимания. Ее нужно сделать удобной, практичной и полезной, ведь именно она является основным информативным источником при подготовке к различным отчетным занятиям, зачетам, экзаменам. Целесообразно отделить поля, где можно бы изложить свои мысли, вопросы, появившиеся в ходе лекции. Полезно одну из страниц оставлять свободной. Она потребуется потом, при самостоятельной подготовке. Сюда можно будет занести дополнительную информацию по данной теме, полученную из других источников.

После прослушивания лекции необходимо проработать и осмыслить полученный материал. От того насколько эффективно студент это сделает, зависит и прочность усвоения знаний, и, соответственно, качество восприятия предстоящей лекции, так как он более целенаправленно будет её слушать.

Перед каждой последующей лекцией рекомендуется просмотреть материал по предыдущей лекции. Опыт показывает, что предсессионный штурм непродуктивен, материал запоминается ненадолго. Необходим систематический труд в течение всего семестра.

В ходе подготовки к практическим занятиям

Для более глубокого усвоения материала полезно решать задачи. Умение решать задачи потребуется и на зачете. Большинство вузов в билеты для зачета, помимо теоретических вопросов, включает одну или несколько задач, и во время зачета вам, кроме дополнительных теоретических вопросов, может быть предложена задача. Экзаменаторы справедливо считают, что одним из критериев усвоения теории является способность решать задачи.

Для подготовки к практическим занятиям используйте конспекты лекций, учебники и учебные пособия, указанные в списке рекомендуемой основной и дополнительной литературы. Просмотрите те вопросы теории, освещающие разбираемую тему. На практических занятиях целесообразно иметь при себе конспекты лекций, учебники и учебные пособия. При выполнении домашних задач внимательно просмотрите решение аналогичных задач, рассматриваемых на учебных занятиях, осмыслите методы и методические приемы, используемые при их решении. Освоив методику решения данного класса задач, приступайте к решению задач. При этом придерживайтесь следующих правил.

- Решение задач всех разделов удобно начинать с краткой записи условия, где необходимо отразить не только данные числовые значения, но и все дополнительные условия, которые

следуют из текста задачи: неизменность или кратность каких-либо параметров, их граничные значения, условия, которые определяются содержанием задачи.

- Очень важно правильно поставить вопрос к задаче.
- Надо проверить, все ли заданные величины в задаче находятся в одной системе единиц.
- Обязательно надо нарисовать рисунок к задаче, на котором следует обозначить те параметры, которые даны, и те, которые нужно найти. Рисунок в большинстве случаев сильно облегчает процесс решения задачи.
- Необходимо обдумать содержание задачи, выяснить, к какому разделу она относится.
- Далее следует записать формулы, соответствующие используемым в задаче законам, не следует сразу искать неизвестную величину; надо посмотреть, все ли параметры в формуле известны.
- Решение задачи чаще всего следует выполнять в общем виде, то есть в буквенных обозначениях.
- Получив решение в общем виде, нужно проверить размерность полученной величины. Для этого в формулу подставить не числа, а размерности входящих в нее величин. Ответ должен соответствовать размерности искомой величины (смотрите в примерах).
- После проверки формулы на размерность следует подставить численные значения входящих в нее величин и произвести расчет.
- Далее нужно проанализировать и сформулировать ответ. Все этапы этих расчетов необходимо кратко отразить в отчете.

При выполнении индивидуальных заданий следует обращаться к сайтам энергетических компаний, пользоваться электрическими схемами электрических станций и электрических сетей Дальневосточного региона. Практические занятия способствуют развитию аналитических и вычислительных способностей, формированию компетенций, на освоение которых направлена данная дисциплина.

Методические указания к самостоятельной работе

Одним из основных видов деятельности студента является самостоятельная работа, которая включает в себя изучение лекционного материала, учебников и учебных пособий, публикаций, первоисточников, подготовку индивидуальных заданий, выступления на групповых занятиях, выполнение заданий преподавателя.

Самостоятельная работа по изучению дисциплины делится на аудиторную и внеаудиторную.

Аудиторная самостоятельная работа выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя. Кроме того, самостоятельная работа под руководством преподавателя подразумевает консультации и помощь при выполнении индивидуального задания, консультации по разъяснению материала, вынесенного на самостоятельную проработку, консультации по выполнению типовых заданий.

Методика самостоятельной работы предварительно разъясняется преподавателем и в последующем может уточняться с учетом индивидуальных особенностей студентов. Преподаватель в начале изучения дисциплины предоставляет обучающимся список учебно-методических материалов. Своевременное и качественное выполнение самостоятельной работы базируется на соблюдении настоящих рекомендаций в изучении рекомендованной литературы. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании курсовых проектов и выполнении ВКР.

Изучение дисциплины следует начинать с проработки настоящей рабочей программы, особое внимание, уделяя целям и задачам, структуре и содержанию курса.

Студентам рекомендуется получить в научной библиотеке университета учебную литературу по дисциплине, необходимую для эффективной работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины, либо воспользоваться

ЭБС, указанными в рабочей программе. Успешное освоение курса предполагает активное, творческое участие студента путем планомерной, повседневной работы.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную и приводится в п. 10 рабочей программы. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия).

Необходимость изучения дополнительной литературы, профессиональных баз данных диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение новые документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала. Здесь целесообразно пользоваться периодическими изданиями и нормативной литературой по электроэнергетике.

Групповая и индивидуальная консультация

Разъяснение является основным содержанием данной формы занятий, наиболее сложных вопросов изучаемого программного материала. Цель – максимальное приближение обучения к практическим интересам с учетом имеющейся информации и является результативным материалом закрепления знаний. Групповая консультация проводится в следующих случаях: когда необходимо подробно рассмотреть практические вопросы, которые были недостаточно освещены или совсем не освещены в процессе лекции; с целью оказания помощи в самостоятельной работе.

Групповая консультация может быть проведена в режиме on-line через личные кабинеты обучающихся и преподавателя. Индивидуальная консультация проводится по запросу обучающегося в виде контактной работы, либо в режиме on-line или off-line через электронную информационно-образовательную среду.

№ п/п	№ модуля дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоёмкость в акад. часах
1	1	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию, подготовка к лабораторным занятиям	20
2	2	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию, подготовка к лабораторным занятиям	16
3		Подготовка к зачету	

Вопросы к зачету

1. Характеристика производственных помещений по условиям окружающей среды, их классификация.
2. Выбор напряжения в цеховой электрической сети.
3. Схемы цеховых электрических сетей специальных объектов.
4. Общие принципы построения цеховых сетей, классификация цеховых сетей по конструктивному исполнению.
5. Шинопроводы (типы и конструкции).
6. Прокладка шинопроводов.
7. Электропроводка.
8. Кабели напряжением до 1 кВ (марки, конструктивное исполнение, область применения).
9. Провода напряжением до 1 кВ.
10. Способы прокладки проводов, кабелей.
11. Распределительные силовые шкафы, пункты, щиты, ящики и щитки.
12. Комплектные распределительные устройства напряжением до 1 кВ.
13. Крановые троллеи.
14. Автоматические выключатели (типы, конструкция, характеристики, принцип работы).
15. Предохранители.

16. Магнитные пускатели.
17. КТП (компоновка, конструкция).
18. Схемы цеховых подстанций.
19. Размещение и компоновка цеховых подстанций.
20. Цеховые сети в нормальных помещениях.
21. Цеховые сети в пожаро- и взрывоопасных помещениях.
22. Выбор сечений проводников.
23. Выбор предохранителей.
24. Выбор автоматических выключателей.
25. Расчет трехфазных токов КЗ в сети до 1 кВ.
26. Расчет токов однофазного КЗ в сети до 1 кВ.
27. Распределение низковольтных компенсирующих устройств в цеховой сети специальных объектов.
28. Избирательность действия предохранителя и автоматического выключателя. Карта селективности.
29. АВР в низковольтной сети.
30. Определение и нормирование тока замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью.
31. Расчет параметров ДГР и выбор силовых трансформаторов для их подключения к сети.
32. Принципы работы ДГР и их конструктивное исполнение. Выбор места установки ДГР.
33. Длительность пуска и самозапуска ЭД.
34. Способы и схемы пуска высоковольтных ЭД.
35. Способы и схемы пуска низковольтных ЭД.
36. Прямой пуск высоковольтных ЭД.
37. Реакторный пуск ЭД.
38. Пуск низковольтных электродвигателей.
39. Трансформаторный пуск ЭД.
40. Самозапуск АД.
41. Самозапуск СД.
42. Определение допустимости несинхронного включения ЭД.
43. Определение неотключаемой мощности самозапускающихся ЭД.
44. Режим нейтрали в установках до 1000 В.
45. Сети для передвижных ЭП.
46. Механические характеристики ЭД при различных уровнях напряжения.
47. Изменение сопротивления и пускового тока при скольжении.
48. Нагрев ЭД.
49. Пуск ЭД от источника соизмеримой мощности.
50. Технологическая и аварийная броня электроснабжения потребителей электроэнергии.

Критерии оценивания зачета:

Зачтено:

Высокий уровень - Ответы на вопросы излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений. Полно раскрываются причинно-следственные связи между явлениями и событиями. Делаются обоснованные выводы. Демонстрируются глубокие знания базовых нормативно-правовых актов. Соблюдаются нормы литературной речи.

Повышенный уровень - Ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно. Базовые нормативно-правовые акты используются, но в недостаточном объеме. Материал излагается уверенно. Раскрыты причинно-следственные связи между явлениями и событиями. Демонстрируется умение анализировать материал, однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер. Соблюдаются нормы литературной речи.

Пороговый уровень - Допускаются нарушения в последовательности изложения. Имеются упоминания об отдельных базовых нормативно-правовых актах. Неполно раскрываются причинно-следственные связи между явлениями и событиями. Демонстрируются поверхностные

знания вопроса, с трудом решаются конкретные задачи. Имеются затруднения с выводами. Допускаются нарушения норм литературной речи.

Незачтено:

Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине. Не раскрываются причинно-следственные связи между явлениями и событиями. Не проводится анализ. Выводы отсутствуют. Ответы на дополнительные вопросы отсутствуют. Имеются заметные нарушения норм литературной речи.

В процессе изучения дисциплины используются следующие виды контроля знаний студентов:

- входной контроль;
- текущий контроль;
- рубежный контроль;
- экзаменационный (итоговый) контроль;
- самоконтроль знаний.

Виды и цели контроля

Входной контроль зависит от цели обучающего курса и его специфики. Он определяет готовность студента к работе по курсу (роль допуска к обучению), выполняет диагностические функции, выявляет пробелы в знаниях, компенсируемые процессом дополнительного обучения. Обучающий курс становится адаптивным (каждый учащийся идет своим путем в зависимости от его начального уровня). Работа по тестовым заданиям настраивает студента на предметную область, вводит в терминологию, способствует актуализации знаний, становится стартовой площадкой для новой темы. Обычно входной контроль редок (вступительные экзамены, допуск к лабораторной работе), но при компьютеризации обучения его частота повышается.

Текущий контроль – диагностика знаний, умений и навыков (ЗУН) и коррекция обучения в процессе усвоения темы, позволяющая исправлять недостатки обучения и достигать необходимого уровня его усвоения.

Рубежный контроль – это проверка уровня усвоения очередного раздела курса. Студенту предлагается творческая задача, задача повышенной сложности или задача, предусматривающая перенос усвоенных знаний на другой материал. Успешное решение задачи показывает, что учащийся овладел всей системой знаний и действий, предусмотренных целями обучения по данной теме. Рубежная проверка позволяет обучаемому запрашивать необходимый справочный или информационный материал, советы, разъяснения ошибок, наводящие вопросы. Задания должны быть адекватны этапу познавательной деятельности, элементу которого соответствует серия нескольких заданий. Рубежный контроль может быть входным для изучения последующего материала и поддержки уровня знаний при перерывах в обучении, что характерно для студентов заочной и сокращенной заочной форм. Итогом рубежного контроля являются результаты контрольных точек.

Экзаменационный (итоговый) контроль. Если проверка исходного уровня – «входной» контроль, то заключительный контроль показывает полученные результаты «на выходе». Он представляет собой серию заданий по всему материалу, которую обучаемый должен решить самостоятельно. По результатам экзаменационного контроля учащийся получает отметку.

Самоконтроль знаний – наиболее простой вид. Обычно это вопросы и задачи, на которые учащийся пытается ответить самостоятельно. При затруднении он может обратиться к учебнику и найти в нем ответы. Основная цель самоконтроля – самоутверждение, достижение уверенности в усвоении учебного материала, хотя это может и не соответствовать действительности.

Таким образом, основные цели разных видов контроля следующие: самоутверждение; готовность к изучению нового материала; проверка уровня усвоения; поддержка адаптивного обучения и уровня знаний; формирование базы оценок для определения рейтинга обучаемых. Программные средства контроля знаний должны обеспечивать все стадии его проведения: от идентификации до выдачи результатов.

Контроль (диагностика) знаний, умений, навыков (ЗУН) включает в себя выполнение некоторого множества заданий, характеризующихся трудностью и сложностью. Трудность задания определяется уровнем усвоения, на диагностику которого оно направлено. Сложность характеризуется числом существенных операций в нем, в т.ч. и свернутых.

Педагогически корректное задание для контроля знаний студентов должно быть: содержательно валидным (построенным на содержании предшествующего обучения); функционально валидным (проверка того, для чего его используют); объективным; однозначным; специфичным (требующим конкретных ЗУН, а не общей эрудиции); способным разделить учащихся на знающих и незнающих.

Подбор заданий в группу основан на репрезентативности (полноте охвата дисциплины или ее раздела ограниченной выборкой); однородности (равноценности содержания и трудности наборов заданий); рандомизации (гарантии не предъявления одного и того же набора заданий).

Входной контроль выполняется в виде тестовых заданий. Формами текущего контроля являются блиц-опрос студентов на каждой лекции по пройденному материалу (5-7 минут), опрос на практических занятиях, защита индивидуальных домашних заданий, рефераты.

Рубежный контроль предусматривает выполнение контрольных работ, комплексных заданий, направленных на проверку эвристических способностей студентов, углубленного изучения материала, коллоквиум.

Итоговый контроль – это экзамен по дисциплине. Экзаменационный билет должен включать два теоретических вопроса и задачу. Предусмотрено три типа сложности задач: простой, средней и повышенной сложности. Студенту предлагается выбор задачи по сложности в зависимости от того, на какую оценку он претендует. Если студент не справляется с задачей средней или повышенной сложности, то предлагается простая задача, отсутствие решения которой приводит к неудовлетворительной оценке на экзамене.

Рекомендуется при оценке знаний студентов на экзамене учитывать его работу в семестре.

Контрольные задания по дисциплине

«Электроснабжение специальных объектов»

Вариант № 1

1. Электротехнические установки, производящие, преобразующие, распределяющие и потребляющие электроэнергию подразделяются на ЭУ напряжением:

- а) выше 1 кВ и ниже 1 кВ
- б) 1 кВ, 10 кВ, 35 кВ, 110 кВ, 220 кВ
- в) до 220 кВ и свыше 220 кВ.

2. Режим работы ЭП характеризуется:

- а) технологическим процессом
- б) температурой отдельных частей машины
- в) временем работы ЭП.

3. Глухое заземление нейтрали применяется в:

- а) трехфазных сетях 6-35 кВ
- б) трехфазных сетях постоянного тока
- в) в сетях 110 кВ и выше, в 4-х проводных сетях 380/220 В, 3-х фазных сетях постоянного тока.

4. Плавкие предохранители служат для:

- а) защиты внутрицеховых сетей от токов КЗ
- б) дистанционного управления АД
- в) коммутации силовой цепи.

5. Отклонение напряжения у ЭП определяется:

- а) $\pm U\% = [(U_{\text{фак}} - U_{\text{ном}})/U_{\text{ном}}] \cdot 100\%$
- б) $\pm U\% = [(U_{\text{ном}} - U_{\text{мин}})/U_{\text{ном}}] \cdot 100\%$

- б) $\pm U\% = [(U_{\max} - U_{\text{ном}})]/U_{\text{ном}} \cdot 100\%$
6. Провести соответствие:
- а) НКУ установлено у одиночного ЭП с низким $\cos \varphi$ и большим числом часов работы в году
- б) НКУ установлено у распределительного пункта < 1 кВ или на магистральном шинопроводе
- в) НКУ установлено на шинах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ
1. Централизованная КРМ
 2. Групповая КРМ
 3. Индивидуальная КРМ
7. Режим настройки дугогасящих катушек в нейтрали характеризуется:
- а) степенью расстройки, степенью настройки
- б) коэффициентом успокоения резонансно-заземленной сети
- в) напряжением смещения нейтрали.
8. Условием несинхронного включения СД является:
- а) $I_{\text{нс}}X''d \leq 1,5 k$
- б) $I_{\text{нс}}X''d \leq 1,05 k$
- в) $I_{\text{нс}}X'd \leq 1,5 k$
9. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя определяется как:
- а) для одиночного ЭП $I_{\text{ном.вст.}} \geq I_p$
для одиночного ЭД $I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{пуск.}}/\alpha$
- б) для одиночного ЭП $I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{ном.эп}}$
для одиночного ЭД $I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{лик.}}/\alpha$
- в) для одиночного ЭП $I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{ном.эн}}$
для одиночного ЭД $I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{пуск.}}/\alpha$
10. По роду ток все потребители эл.энергии, работающие от сети делятся на группы:
- а) переменного и постоянного тока
- б) переменного тока нормальной промышленной частоты, переменного тока повышенной или пониженной частоты постоянного тока
- в) переменного тока повышенной частоты и постоянного тока.
11. При прокладке кабелей до 10 кВ в земле рекомендуется в одной траншее прокладывать:
- а) не более 6 силовых кабелей
- б) не более 10 силовых кабелей
- в) не более 12 силовых кабелей
12. Процесс самозапуска делится на следующие этапы:
- а) выбег и восстановление рабочего режима
- б) разгон и восстановление рабочего режима
- в) выбег, разгон и восстановление рабочего режима.
13. Для увеличения критического скольжения во время самозапуска необходимо:
- а) проводить ресинхронизацию СД
- б) максимально использовать форсировку возбуждения
- в) чтобы входной момент был меньше момента сопротивления СД
14. Номинальная акт. мощность ЭП повторно-кратковременного режима работы это:
- а) мощность за наиболее загруженную смену
- б) паспортная мощность, приведенная к длительному режиму работы
- в) максимальная мощность за 30-минутный максимум.
15. Режимы настройки дугогасящих катушек в сети с резонансно-заземленными нейтралью являются:
- а) резонансный
- б) недокомпенсации, резонансный

- в) резонансный, недокомпенсации, перекомпенсации.
16. Расчетная нагрузка эмпирическим методом определяется как:
- $P_p = K_c \cdot P_{уст.}$
 - $P_p = P_{срт} + bdc_{срт}$
 - $P_p = K_p \cdot P_{ср}$
17. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя определяется как:
- для одиночного ЭП $I_{ном.вст.} \geq I_p$
для одиночного ЭД $I_{ном.вст.} \geq I_{пуск.}/\alpha$
 - для одиночного ЭП $I_{ном.вст.} \geq I_{ном.эп}$
для одиночного ЭД $I_{ном.вст.} \geq I_{лик.}/\alpha$
 - для одиночного ЭП $I_{ном.вст.} \geq I_{ном.эн}$
для одиночного ЭД $I_{ном.вст.} \geq I_{пуск.}/\alpha$
18. Расчетная реактивная нагрузка в сетях 6-10 кВ промышленных предприятий определяется:
- $Q\beta = Q_{р.в.} + Q_{мах.т} - \Delta Q_T$
 - $Q\beta = Q_{р.в.} - Q_{мах.т} + \Delta Q_T$
 - $Q\beta = Q_{р.в.} + Q_{мах.т} - \Delta Q_T$
19. Приемником электроэнергии называют:
- преобразовательное устройство
 - устройство, в котором происходит преобразование электроэнергии в другой вид энергии для ее использования
 - совокупность машин для преобразования эл.энергии.
20. Приемники электроэнергии подразделяются на группы по сходству режимов на:
- ЭП длительного режима работы
ЭП кратковременного режима работы
ЭП повторно-кратковременного режима работы
 - ЭП продолжительного режима работы
ЭП кратковременного режима работы
 - ЭП спокойного режима работы
ЭП ударного режима работы.

Вариант № 2

- Электроснабжением называют:
 - обеспечение потребителей электроэнергией
 - совокупность ЭУ, предназначенных для обеспечения потребителей электроэнергией
 - совокупность взаимосвязанных ЭУ предприятия, города.
- Номинальная активная мощность ЭП длительного режима работы это:
 - мощность за наиболее загруженную смену
 - мощность, указанная в тех. паспорте ЭП
 - средняя мощность ЭП.
- В сетях 6-10 кВ промышленных предприятий экономически целесообразно применять токопроводы при передаваемой мощности:
 - 5-10 МВА на $U=6\text{кВ}$, >10 МВА на $U=10\text{кВ}$
 - 15-40 МВА на $U=6\text{кВ}$ 20-70 МВА на $U=10\text{кВ}$
 - <15 МВА на $U=6\text{кВ}$, >15 МВА на $U=10\text{кВ}$.
- Номинальным током плавкой вставки называют:
 - номинальный ток, при котором плавкая вставка предохранителя еще не перегорает
 - ток, которой может длительно проходить через их, не вызывая расплавления металла вставки или сильного нагрева
 - ток КЗ, протекающий через предохранитель.
- Потеря напряжения между напряжением ист. питания U_1 и напряжением в месте подключения ЭП к сети U_2 определяется:

- а) $\Delta U\% = [(U_{\text{ном}} - U_2)/U_1] \cdot 100\%$
 б) $\Delta U\% = [(U_1 - U_2)/U_{\text{ном}}] \cdot 100\%$
 б) $\Delta U\% = [(U_1 - U_{\text{ном}})/U_2] \cdot 100\%$
6. Преднамеренное соединение с заземляющим устройством какой либо точки токоведущих частей ЭУ, необходимое для обеспечения ее работы, называют:
- а) рабочим заземлением
 б) защитным заземлением
 в) заземлением нейтрали.
7. Коэффициент успокоения резонансно-заземленной сети определяется как:
- $$C_A + a^2 C_B + a C_C$$
- а) $d = - \frac{C_A + a^2 C_B + a C_C}{C_A + C_B + C_C}$
- б) $d = \frac{W(C_A + C_B + C_C) - 1/WL_H}{W(C_A + C_B + C_C)} \cdot 100$
- в) $d = \frac{3G + 1/R_H}{W(C_A + C_B + C_C)} \cdot 100$
8. Ток несинхронного выключения при самозапуске 1 ЭД определяется:
- а) $I_{\text{нс}} = \frac{E + U}{X''_d + X_c}$
- а) $I_{\text{нс}} = \frac{E + U}{X'_d + X_c}$
- а) $I_{\text{нс}} = \frac{E + U}{X_d + X_c}$
9. Приемники электроэнергии подразделяются на группы по сходству режимов на:
- а) ЭП длительного режима работы
 ЭП кратковременного режима работы
 ЭП повторно-кратковременного режима работы
 б) ЭП продолжительного режима работы
 ЭП кратковременного режима работы
 в) ЭП спокойного режима работы
 ЭП ударного режима работы.
10. В зависимости от установленной мощности приемников электроэнергии различают объекты:
- а) большой (75-100 МВт и >), средней (от 5 до 75 МВт) и малой (<5 МВт) мощности
 б) большой (>100 МВт), средней (<100 МВт)
 в) большой (>75 МВт), малой (<75 МВт)
11. Расстояние между двумя параллельно идущими траншеями с кабелями 35 кВ:
- а) 1,5 м
 б) 1 м
 в) 0,5 м

12. При выборе защитных аппаратов для защиты ЭД до 1 кВ учитывается коэффициент α , зависящий от условий и длительности пуска ЭД и равный:
- $\alpha = 2,5$ для легких пусков с $t_{\text{пуска}} = \text{до } 2,5\text{с}$
 $\alpha = 1,6$ для тяжелых пусков с $t_{\text{пуска}} = > 2,5\text{с}$
 - $\alpha = 3,5$ для легких пусков с $t_{\text{пуска}} \text{ до } 3,5\text{с}$
 $\alpha = 2,5$ для тяжелых пусков с $t_{\text{пуска}} > 3,5\text{с}$
 - $\alpha = 1,6$ для легких пусков с $t_{\text{пуска}} \text{ до } 1,6\text{с}$
 $\alpha = 2,5$ для тяжелых пусков с $t_{\text{пуска}} > 1,6\text{с}$
13. Баланс реактивной мощности в узле 6-10 кВ промышленного предприятия имеет вид:
- $Q_{\text{в}} - Q_{\text{нк}} - Q_{\text{ск}} - Q_{\text{т}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{эл}} = 0$
 - $Q_{\text{в}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{ск}} - Q_{\text{тэц}} - Q_{\text{вк}} - Q_{\text{эл}} = 0$
 - $Q_{\text{в}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{вк}} - Q_{\text{мах.т}} - Q_{\text{эл}} - Q_{\text{тэц}} = 0$
14. Если коэффициент эффективности заземления нейтрали $k_{\text{з}} \leq 1,4$, то такое заземление нейтрали называют:
- изолированным
 - эффективным
 - компенсированным
15. Емкостной ток замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью определяется как:
- $I_{\text{см}} = U_{\text{л}} / \alpha$
 - $I_{\text{см}} = U_{\text{л}}$
 - $I_{\text{сф}} = \sqrt{3} U_{\text{ф}} \sum W_{\text{сoi}} \text{ li}$
16. Напряжение фаз относительно земли при однофазных КЗ в эффективно-заземленных сетях не превышают:
- $1,4 U_{\text{ф}}$
 - $1,73 U_{\text{ф}}$
 - $1,9 U_{\text{ф}}$
17. Промышленные механизмы, участвующие в самозапуске делятся на:
- механизмы с постоянным моментом сопротивления, механизмы с вентиляторным моментом сопротивления
 - механизмы с максимальным моментом сопротивления, механизмы с номинальным моментом сопротивления
 - механизмы с минимальным моментом сопротивления, механизмы с максимальным моментом сопротивления
18. Для увеличения критического скольжения во время самозапуска необходимо:
- проводить ресинхронизацию СД
 - максимально использовать форсировку возбуждения
 - чтобы входной момент был меньше момента сопротивления СД
19. Коэффициентом спроса активной мощности называется отношение:
- $\frac{P_{\text{ср.м.}}}{P_{\text{ном.}}}$
 - $\frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{ном}}}$
 - $\frac{P_{\text{мах}}}{P_{\text{ном}}}$
20. Предельно допустимым током по нагреву называют:
- длительно протекающий по проводнику ток, при котором устанавливается наибольшая длительно допустимая температура нагрева проводника
 - минимальный ток в нормальном режиме длительно протекающий по проводнику
 - ток, протекающий в проводнике в после аварийном режиме.

Вариант № 3

1. Приемником электроэнергии называют:
 - а) преобразовательное устройство
 - б) устройство, в котором происходит преобразование электроэнергии в другой вид энергии для ее использования
 - в) совокупность машин для преобразования эл.энергии.
2. Номинальная акт, мощность ЭП повторно-кратковременного режима работы это:
 - а) мощность за наиболее загруженную смену
 - б) паспортная мощность, приведенная к длительному режиму работы
 - в) максимальная мощность за 30-минутный максимум.
3. По режиму КЗ при напряжении >1 кВ не проверяются элементы канализации электроэнергии:
 - а) защищенные автоматическими выключателями и Ином.выкл. до 100 А
 - б) защищенные плавкими предохранителями со вставками на Ином до 60 А - по эл.динамической стойкости, независимо от номинального тока вставок по термической
 - в) защищенные плавкими предохранителями с $I_{вст} < 60$ А.
4. Автоматические воздушные выключатели до 1 кВ предназначены:
 - а) автоматического размыкания эл.цепей при аномальных режимах
 - б) для оперативных переключений при нормальных режимах
 - в) для защиты эл.сетей до 1 кВ от токов КЗ и перегрузки, для редких оперативных переключений в нормальном режиме, для защиты сетей при снижении напряжения.
5. Расчетная реактивная нагрузка в сетях 6-10 кВ промышленных предприятий определяется:
 - а) $Q\beta = Q_{р.в.} + Q_{мах.т} - \Delta Q_T$
 - б) $Q\beta = Q_{р.в.} - Q_{мах.т} + \Delta Q_T$
 - в) $Q\beta = Q_{р.в.} + Q_{мах.т} - \Delta Q_T$
6. Коэффициентом эффективности заземления нейтрали кЗ называют:
 - а) $k_3 = U_{ном} / U_{мин}$
 - б) $k_3 = U_{фз} / U_{ф}$
 - в) $k_3 = U_{мах} U_{мин} / U_{ном}$
7. Напряжение фаз относительно земли при однофазных КЗ в эффективно-заземленных сетях не превышают:
 - а) $1,4 U_{ф}$
 - б) $1,73 U_{ф}$
 - в) $1,9 U_{ф}$
8. Для увеличения критического скольжения во время самозапуска необходимо:
 - а) проводить ресинхронизацию СД
 - б) максимально использовать форсировку возбуждения
 - в) чтобы входной момент был меньше момента сопротивления СД
9. По роду ток все потребители эл. энергии, работающие от сети делятся на группы:
 - а) переменного и постоянного тока
 - б) переменного тока нормальной промышленной частоты, переменного тока повышенной или пониженной частоты постоянного тока
 - в) переменного тока повышенной частоты и постоянного тока.
10. Номинальная активная мощность ЭП длительного режима работы это:
 - а) мощность за наиболее загруженную смену
 - б) мощность, указанная в тех. паспорте ЭП
 - в) средняя мощность ЭП.
11. Расчетная нагрузка эмпирическим методом определяется как:
 - а) $P_p = K_c \cdot P_{уст}$
 - б) $P_p = P_{срт} \pm \beta \delta_{срт}$

- в) $P_p = K_p \cdot P_{ср}$
12. При прокладке кабелей до 10 кВ в земле рекомендуется в одной траншее прокладывать:
- не более 6 силовых кабелей
 - не более 10 силовых кабелей
 - не более 12 силовых кабелей
13. Плавкие предохранители служат для:
- защиты внутрицеховых сетей от токов КЗ
 - дистанционного управления АД
 - коммутации силовой цепи.
14. Предельно допустимым током по нагреву называют:
- длительно протекающий по проводнику ток, при котором устанавливается наибольшая длительно допустимая температура нагрева проводника
 - минимальный ток в нормальном режиме длительно протекающий по проводнику
 - ток, протекающий в проводнике в послеаварийном режиме.
15. Реактивная мощность, генерируемая СД определяется как:
- $Q_{сд} = P_{ном.сд} K_{сд} \operatorname{tg} \varphi_{ном}$
 - $Q_{сд} + \alpha_m \sqrt{P_{ном.сд}^2 + Q_{ном.сд}^2}$
 - $Q = \frac{P_{ном.сд} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ном}}{\eta_{ном}}$
16. Преднамеренное соединение с заземляющим устройством какой либо точки токоведущих частей ЭУ, необходимое для обеспечения ее работы, называют:
- рабочим заземлением
 - защитным заземлением
 - заземлением нейтрали.
17. Режимы настройки дугогасящих катушек в сети с резонансно-заземленными нейтралями являются:
- резонансный
 - недокомпенсации, резонансный
 - резонансный, недокомпенсации, перекомпенсации.
18. Процесс самозапуска делится на следующие этапы:
- выбег и восстановление рабочего режима
 - разгон и восстановление рабочего режима
 - выбег, разгон и восстановление рабочего режима.
19. Условием несинхронного включения СД является:
- $\operatorname{InсX}''d \leq 1,5 k$
 - $\operatorname{InсX}''d \leq 1,05 k$
 - $\operatorname{InсX}'d \leq 1,5 k$
20. Коэффициент использования активной мощности одиночного ЭП это отношение:
- $\frac{P_{ср.м.}}{P_{ном.}}$
 - $\frac{P_{ср.кВ}}{P_{ном.}}$
 - $\frac{P_p}{P_{ном.}}$

Вариант № 4

- Распределительным пунктом называют:
 - ЭУ для преобразования и распределения эл. энергии
 - РУ, предназначенное для приема и распределения эл. энергии на одном напряжении без преобразования и трансформации
 - комплектное устройство, предназначенное для управления линиями сети и их защиты.
- Коэффициент использования активной мощности одиночного ЭП это отношение:

$$\text{а) } \frac{P_{\text{ср.м.}}}{P_{\text{ном.}}} \quad \text{б) } \frac{P_{\text{ср.кВ}}}{P_{\text{ном.}}} \quad \text{в) } \frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{ном.}}}$$

3. По режиму КЗ в ЭУ выше 1 кВ должны проверяться:

- а) кабели и др. проводники
- б) ВЛ и токопроводы
- в) кабели, токопроводы, опорные и несущие конструкции на них, ВЛ при $i_{\text{уд кз}} \geq 50$ кА.

4. Током трогания АВ называют:

- а) настройку расцепителя на заданный ток срабатывания
- б) наименьший ток, вызывающий отключение АВ
- в) максимальный ток, который может протекать через АВ.

5. Баланс реактивной мощности в узле 6-10 кВ промышленных предприятия имеет вид:

- а) $Q_{\text{в}} - Q_{\text{нк}} - Q_{\text{ск}} - Q_{\text{т}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{э1}} = 0$
- в) $Q_{\text{в}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{ск}} - Q_{\text{тэц}} - Q_{\text{вк}} - Q_{\text{э1}} = 0$
- в) $Q_{\text{в}} - Q_{\text{сд}} - Q_{\text{вк}} - Q_{\text{мах.т}} - Q_{\text{э1}} - Q_{\text{тэц}} = 0$

6. Если коэффициент эффективности заземления нейтрали $k_{\text{з}} \leq 1,4$, то такое заземление нейтрали называют:

- а) изолированным
- б) эффективным
- в) компенсированным

7. Самозапуском называется:

- а) восстановление нормальной работы эл. привода без вмешательства персонала после кратковременного перерыва электроснабжения
- б) восстановление работы ЭД после нарушения питания
- в) восстановление работы эл. привода после срабатывания РЗ и А.

8. Глухое заземление нейтрали применяется в:

- а) трехфазных сетях 6-35 кВ
- б) трехфазных сетях постоянного тока
- в) в сетях 110 кВ и выше, в 4-х проводных сетях 380/220 В, 3-х фазных сетях постоянного тока.

9. Номинальная акт. мощность ЭП повторно-кратковременного режима работы это:

- а) мощность за наиболее загруженную смену
- б) паспортная мощность, приведенная к длительному режиму работы
- в) максимальная мощность за 30-минутный максимум.

10. По режиму КЗ при напряжении >1 кВ не проверяются элементы канализации электроэнергии:

- а) защищенные автоматическими выключателями и $I_{\text{ном.выкл.}}$ до 100 А
- б) защищенные плавкими предохранителями со вставками на $I_{\text{ном}}$ до 60 А - по эл.динамической стойкости, независимо от номинального тока вставок по термической
- в) защищенные плавкими предохранителями с $I_{\text{вст}} < 60$ А.

11. Плавкие предохранители служат для:

- а) защиты внутрицеховых сетей от токов КЗ
- б) дистанционного управления АД
- в) коммутации силовой цепи.

12. Номинальный ток плавкой вставки предохранителя определяется как:

- а) для одиночного ЭП $I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{р}}$
для одиночного ЭД $I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{пуск.}}/\alpha$
- б) для одиночного ЭП $I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{ном.эп}}$
для одиночного ЭД $I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{лик.}}/\alpha$
- в) для одиночного ЭП $I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{ном.эн}}$
для одиночного ЭД $I_{\text{ном.вст.}} \geq I_{\text{пуск.}}/\alpha$

13. Реактивная мощность, генерируемая СД определяется как:

а) $Q_{сд} = P_{ном.сд} K_{сд} \operatorname{tg} \varphi_{ном}$

б) $Q_{сд} + \alpha_m \sqrt{P_{ном.сд}^2 + Q_{ном.сд}^2}$

в) $Q = \frac{P_{ном.сд} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ном}}{\eta_{ном}}$

14. Провести соответствие:

а) НКУ установлено у одиночного ЭП с низким $\cos \varphi$ и большим числом часов работы в году

б) НКУ установлено у распределительного пункта < 1 кВ или на магистральном шинопроводе

в) НКУ установлено на шинах 0,4 кВ ТП 10/0,4 кВ

1. Централизованная КРМ

2. Групповая КРМ

3. Индивидуальная КРМ

15. Длительно допускаяемым током замыкания на землю называется ток:

а) максимальный, протекаемый в нейтрали трансформатора

б) который, протекая в течение 1-2 часов, не вызывает перехода

в) длительно протекаемый рабочий ток в сети.

16. Режим настройки дугогасящих катушек в нейтрали характеризуется:

а) степенью расстройки, степенью настройки

б) коэффициентом успокоения резонансно-заземленной сети

в) напряжением смещения нейтрали.

17. Самозапуск считается обеспеченным, если:

а) температура нагрева обмоток за время самозапуска не превысит допустимого значения

б) при пониженном напряжении избыточный момент двигателя достаточен для доведения механизма до номинальной угловой скорости и если за время разгона температура нагрева обмоток не превысит допустимого значения

в) при повышенном напряжении избыточный момент двигателя достаточен для доведения механизма до номинальной угловой скорости

18. Для увеличения критического скольжения во время самозапуска необходимо:

а) проводить ресинхронизацию СД

б) максимально использовать форсировку возбуждения

в) чтобы входной момент был меньше момента сопротивления СД

19. Условием несинхронного включения СД является:

а) $I_{нсX}''d \leq 1,5 k$

б) $I_{нсX}''d \leq 1,05 k$

в) $I_{нсX}'d \leq 1,5 k$

20. Номинальным током плавкой вставки называют:

а) номинальный ток, при котором плавкая вставка предохранителя еще не перегорает

б) ток, которой может длительно проходить через их, не вызывая расплавления металла вставки или сильного нагрева

в) ток КЗ, протекающий через предохранитель.

Критерии оценки тестового контроля знаний:

Оценка	Число правильных ответов
5 (отлично)	все
4 (хорошо)	19-15
3 (удовлетворительно)	14- 11
2 (неудовлетворительно)	10 и менее

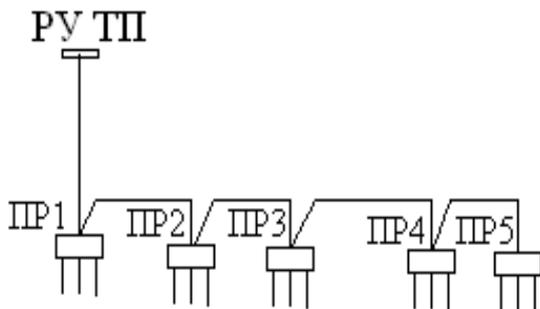
Тест 1 по дисциплине «Электроснабжение специальных объектов»

1. Отметьте правильный ответ

Какими достоинствами обладают схемы блок трансформатор-магистраль?

- а. Более простая конструкция цеховой ТП
- б. Более высокая надежность электроснабжения
- в. Возможность применять для электроснабжения любой категории потребителей

2. Какой тип распределительных пунктов удобней применить для данной схемы?



- а. С автоматическими выключателями на вводе
- б. С зажимами на вводе

3. Отметьте правильный ответ

Как определяется расчетная мощность при определении нагрузок методом коэффициента спроса?

- а. $P_{РАСЧ} = \sum P_{НОМ} \times K_C$
- б. $P_{РАСЧ} = \frac{\sum P_{НОМ}}{K_C}$
- в. $P_{РАСЧ} = 3 \times \sum P_{НОМ} \times K_C$

4. Отметьте правильный ответ

Как определяется расчетная мощность при определении нагрузок методом удельной плотности электрической нагрузки на 1 квадратный метр производственной площади?

- а. $P_{РАСЧ} = F \times p_0$
- б. $P_{РАСЧ} = \frac{F}{p_0}$
- в. $P_{РАСЧ} = \sqrt{3} \times \frac{F}{p_0}$

5. Отметьте правильный ответ

Как определяется расчетная мощность при определении нагрузок методом удельного потребления электроэнергии на единицу продукции?

- а. $P_{РАСЧ} = \frac{W_{ГОД}}{T_{ГОД}}$
- б. $P_{РАСЧ} = W_{ГОД} \times T_{ГОД}$
- в. $P_{РАСЧ} = \sqrt{3} \times W_{ГОД} \times T_{ГОД}$

6. Отметьте правильный ответ

В каком случае применяются перечисленные методы?

- а. Для оценочных расчетов при определении электрических нагрузок на высоком напряжении
- б. Для определения электрических нагрузок небольшого количества электроприемников
- в. Для точного определения электрических нагрузок крупных предприятий

7. Отметьте правильный ответ

В каких сетях возможно применение расчет электрических нагрузок методом коэффициента максимума?

- а. В сетях напряжением до 1000 В
- б. В электрических напряжением выше 1000 В крупных предприятий
- в. Класс напряжения и мощность предприятия не влияет на метод расчета электрических нагрузок

8. Отметьте правильный ответ

Для чего необходимо производить расчет электрических нагрузок?

- а. Для выбора мощности трансформатора и целом всей системы электроснабжения
- б. Для выбора сечения распределительной сети
- в. Для выбора защитной аппаратуры всех электроприемников цех или предприятия

9. Сопоставить термины и их определения

Коэффициент заполнения графика	Число одинаковых по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обеспечивает тот же расчетный максимум, что и группа различных по мощности и режиму работы электроприемников
Эффективное число электроприемников	Не простое суммирование номинальных мощностей, а определение ожидаемых расчетных нагрузок
Что такое расчет электрических нагрузок	Отношение средней нагрузки за максимально загруженную смену к расчетной максимальной нагрузке

10. Что такое K_i в данной формуле и что характеризует?

$$P_{см} = P_{ном} \times K_i$$

- а. коэффициент использования, загруженность электроприемников
- б. изменяющийся коэффициент, экономичность электроприемников
- в. коэффициент заполнения, работоспособность электроприемников

11. Отметьте правильный ответ

Как определяется расчетная активная мощность узла?

- а. $P_p = P_{см} \times K_m$
- б. $P_p = S_{см} \times K_m$
- в. $P_p = P_{ном} \times K_m$

12. Отметьте правильный ответ

Что характеризует коэффициент максимума за максимально загруженную смену?

- а. превышение максимальной нагрузки над средней
- б. превышение максимальной нагрузки над минимальной
- в. экономическую надежность электроприемников

13. Отметьте правильный ответ

Как разбиваются все электроприемники на узлы (РП, шинопровод)?

- а. по месту расположения
- б. по назначению
- в. по мощности

14. Отметьте правильный ответ

Что определяется в последнюю очередь при расчете электрических нагрузок?

- а. расчетный ток I_p
- б. модуль силовой сборки m
- в. расчетная максимальная реактивная мощность Q_p

15. Сопоставить термины и определения

Потеря напряжения	Алгебраическая разность между фактическим (действительным) напряжением сети и номинальным напряжением электроприёмника, отнесенная к номинальному напряжению
Падение напряжения	Алгебраическая разность между напряжением источника питания и напряжением в месте подключения электроприёмника к сети
Отклонение напряжения	Геометрическая разность векторов напряжений переменного тока в начале и в конце рассматриваемого участка электрической сети

16. Отметьте правильный ответ

Каким должно быть напряжение на выводах для нормальной работы электроприемника?

- а. близким к номинальному значению
- б. больше номинального значения
- в. меньше номинального значения

17. Сопоставить термины и обозначение

Падение напряжения	ΔU
Поперечная составляющая падения напряжения	δU
Продольная составляющая падения напряжения	$I Z$

18. Убрать неверный ответ

Как называются составляющие падения напряжения?

- а. аperiodическая
- б. продольная
- в. поперечная

19. Отметьте правильный ответ

Как определяется потеря напряжения в линии с несколькими нагрузками?

- а. как сумма потерь напряжения на отдельных участках
- б. как разность потерь напряжения на отдельных участках
- в. как произведение потерь напряжения на отдельных участках

20. Отметьте правильный ответ

Сколько должно составлять допустимое отклонение напряжения у электроприёмников?

- а. не выше 5%
- б. не менее 3%
- в. не выше 10%

21. Уберите неверный ответ

Как делятся шинопроводы по назначению?

- а. Смешанные (ШСА)
- б. Магистральные (ШМА)
- в. Осветительные (ШОС)

22. Отметьте правильный ответ

Для чего предназначены осветительные шинопроводы?

- а. Для питания большого количества светильников
- б. Для питания электротехнологического оборудования
- в. Для питания отдельных удаленных электроприемников

23. Отметьте правильный ответ

Для чего предназначены троллейные шинопроводы?

- а. Для питания передвижного электрооборудования
- б. Для питания неподвижного электрооборудования
- в. Для питания осветительного оборудования

24. Сопоставить термины и их определения

Электропроводка	Комплектные устройства, изготавливаемые заводами, различных марок и конструкций
Шинопровод	Совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями, устанавливаемыми в соответствии с правилами устройства электроустановок
Распределительный пункт	Комплектные электротехнические устройства для внутрицеховых электросетей

25. Отметьте правильный ответ

Для чего предназначены распределительные пункты?

- а. Для приёма и распределения электроэнергии
- б. Для производства и распределения электроэнергии
- в. Для учёта электроэнергии

26. Отметьте правильный ответ

Как различаются распределительные пункты по конструктивному исполнению?

- а. С зажимами на вводе и с автоматическими выключателями
- б. Навесные, напольные, утопленные
- в. С однополюсными и трехполюсными автоматическими выключателями на отходящих линиях

27. Убрать неправильный ответ

Что дает увеличение сечения проводника ?

- а. Повысить компенсацию реактивной мощности
- б. Уменьшить потери
- в. Увеличить стоимость проводника

28. Отметьте правильный ответ

Как определяется экономическое сечение проводника?

а.
$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}$$

б.
$$F_{\text{эк}} = \frac{j_{\text{эк}}}{I_p}$$

в.
$$F_{\text{эк}} = I_p \times j_{\text{эк}}$$

29. Отметьте правильный ответ

До какого значения округляется расчетное сечение токоведущих частей?

- а. до ближайшего стандартного сечения
- б. до ближайшего меньшего сечения
- в. до ближайшего большего сечения

30. Отметьте правильный ответ

Чем регламентируется значение экономической плотности тока?

- а. ПУЭ
- б. СНиПом
- в. ГОСТом

31. Отметьте правильный ответ

От чего зависит число часов использования максимума нагрузки?

- а. от числа смен в сутки
- б. от числа силовых трансформаторов на ТП
- в. от номинального напряжения сети

32. Отметьте правильный ответ

Что позволяет осуществить метод выбора сечения токоведущих частей по экономической плотности тока?

- а. при минимальном сечении провода обеспечить наименьшие потери электроэнергии
- б. уменьшить номинальные токи в сети
- в. повысить потери напряжения

33. Уберите неверный ответ

Каких типов бывают ячейки?

- а. ОРУ
- б. КСО
- в. КРУ

34. Отметьте правильный ответ

В какой из ячеек выключатель не закреплен стационарно, а установлен на тележке?

- а. КРУ
- б. КСО
- в. ЗРУ

35. Отметьте правильный ответ

Где размещается все оборудование ячеек КРУ и КСО?

- а. в шкафах
- б. на тележке
- в. в камерах

36. Отметьте правильный ответ

Какое из распределительных устройств больше по габаритам?

КРУ

37. Сопоставить термины и их определения

Распределительное устройство	Это распределительное устройство, предназначенное для приема и распределения электроэнергии напряжением 6-10 кВ
Распределительный пункт	Это распределительное устройство, состоящее из закрытых шкафов с встроенными в них аппаратами, измерительными и защитными приборами и вспомогательными приборами
Комплектные распределительные устройства	Это сооружение, предназначенное для приема и распределения электроэнергии и содержащее электроаппараты, шины и вспомогательные устройства

38. Отметьте правильный ответ

Для чего применяют трансформаторные подстанции?

- а. для электроснабжения предприятия
- б. для экономии электроэнергии
- в. для безопасности предприятия

39. Отметьте правильный ответ

Что имеет важное значение для построения рациональной системы электроснабжения промышленного предприятия?

- а. правильное размещение трансформаторной подстанции
- б. выбор станков
- в. выбор защитной аппаратуры

40. Отметьте правильный ответ

Как должны располагаться подстанции по отношению к центрам подключенных к ним нагрузок?

- а. максимально близко
- б. максимально отдаленно
- в. независимо

41. Отметьте правильный ответ

Что разрабатывается при проектировании системы электроснабжения предприятий различных отраслей?

- а. генеральный план объекта
- б. план расположения трансформаторной подстанции
- в. главная схема

42. Отметьте правильный ответ

Что необходимо составить для того, чтобы найти наиболее выгодный вариант расположения понижающей подстанции и источников питания?

- а. картограмму нагрузок
- б. главную схему
- в. генеральный план объекта

43. Отметьте правильный ответ

Сколько процентов составляют погрешности расчета центра электрических нагрузок с помощью картограммы?

- а. 5-10%

- б. 3-5%
- в. 10-13%

44. Отметьте правильный ответ

Зависит ли выбор расположения трансформаторной подстанции от местных условий среды?

- а. да
- б. нет
- в. частично

45. Сопоставить термины и их определения

Траншея	Непроходное кабельное сооружение глубиной до 0,4-1,2 м, покрытое съёмными металлическими или бетонными плитами
Канал	Более глубокое (до 2,5 м) сооружение, устраиваемое в земле для прокладки многих кабелей (более 40) и имеющее устройство принудительной вентиляции
Туннель	Сооружение в земле глубиной 0,7-0,8 метра для укладки кабеля на подушку из песка толщиной 0,1 метр и последующей его засыпкой землей

Тест 2

1. Сопоставить термины с их определениями

Энергетическая система	Совокупность взаимосвязанных электроустановок, предназначенных для производства, передачи и распределения электроэнергии
Система электроснабжения	Совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования предназначенных для производства, трансформации, передачи, распределения электроэнергии и преобразования её в другой вид энергии, изменения рода тока, напряжения, частоты или числа фаз
Электроустановка	Совокупность электроустановок по выработке, распределению и потреблению электроэнергии и теплоты, связанных между собой электрическими и тепловыми сетями

2. Отметьте правильный ответ

Длительный опыт эксплуатации энергосистем показал целесообразность?

- а. Соединения отдельных энергосистем между собой
- б. Отдельной работы энергосистем
- в. Объединение энергосистем по месту расположения

3. Отметьте правильный ответ

Номинальным напряжением генераторов, трансформаторов, сетей и электроприёмников электроэнергии называется то напряжение, при котором они предназначены для?

- а. Нормальной работы в продолжительном режиме
- б. Работы при кратковременных суточных перегрузках
- в. Работы при максимальных длительных перегрузках

4. Отметьте правильный ответ

Как подразделяются электроустановки потребителей по напряжению?

- а. До 1 кВ и выше 1 кВ
- б. До 0,66 кВ и выше 0,66 кВ
- в. До 6 кВ и выше 6 кВ

5. Отметьте правильный ответ

На сколько процентов номинальное напряжение генераторов и вторичных обмоток силовых трансформаторов превышает номинальное напряжение сети?

- а. 5-10%

б. 10-15%

в. 15-20%

6. Отметьте правильный ответ

Какой частоты в нашей стране производится и распределяется трёхфазный переменный ток?

а. 50 Герц

б. 55 Герц

7. Уберите неверный ответ

Какие бывают электропроводки?

а. Закрытая

б. Скрытая

в. Открытая

8. Отметьте правильный ответ

Как выполняется открытая электропроводка?

а. В лотках, коробках, на трассах, тросах, по строительным конструкциям

б. В зданиях, стенах, полах

в. Под штукатуркой

9. Отметьте правильный ответ

Как выполняется скрытая электропроводка?

а. В зданиях, стенах, полах, в трубах

б. В лотках, коробках, на тросах

в. В траншеях

10. Уберите неверный ответ

Жилы, из какого материала бывают у изолированных проводов?

а. Свинцовые

б. Алюминиевые

в. Медные

11. Отметьте правильный ответ

Что означает буква А стоящая первой в марке провода?

а. Алюминиевая жила

б. Поливинилхлоридная изоляция

в. Алюминиевая оболочка

12. Отметьте правильный ответ

Что означает, если в марке провода на первом месте не стоит буква А?

а. Медная жила

б. Алюминиевая жила

в. Свинцовая жила

13. Отметьте правильный ответ

На чем основано действие токовой защиты предохранителей?

а. На перегорании плавкой вставки

б. На срабатывании теплового расцепителя

в. На срабатывании магнитного расцепителя

14. Сопоставить термины и их определения

Время-токовая характеристика

Наименьший ток, при котором плавкая вставка предохранителя еще не перегорает при длительной работе

Ток неплавления

Ток, который может длительно проходить через плавкую вставку, не вызывая расплавления металла вставки или сильного нагрева

Номинальный ток плавкой вставки

Зависимость времени перегорания плавкой вставки (времени срабатывания предохранителя) от тока цепи

15. Отметьте правильный ответ

От чего защищают электромагнитные расцепители автоматических выключателей?

- а. от длительных перегрузок электрических сетей и электроприемников
- б. для защиты двигателя при реверсировании
- в. от токов короткого замыкания

16. Отметьте правильный ответ

С помощью чего осуществляется защита электродвигателей от перегрузки и от обрыва одной фазы?

- а. С помощью тепловых реле
- б. С помощью предохранителей
- в. С помощью автоматов

17. Отметьте правильный ответ

Необходима ли замена элементов в автоматическом выключателе после его срабатывания?

- а. Нет
- б. Да

18. Уберите неверный ответ

Как подразделяются расцепители автоматических выключателей по принципу действия?

- а. Механические
- б. Электромагнитные
- в. Тепловые
- г. Комбинированные

19. Отметьте правильный ответ

Согласно какому закону проводники электрических сетей от проходящего по ним току нагреваются?

- а. Джоуля-Ленца
- б. Кирхгофа
- в. Ома

20. Отметьте правильный ответ

Чему пропорционально количество выделенной тепловой энергии согласно закону Джоуля-Ленца?

- а. напряжению
- б. сопротивлению
- в. времени протекания

21. Отметьте правильный ответ

Как называется ток, длительно протекающий по проводнику, при котором устанавливается наиболее допустимая температура?

- а. предельно допустимым током
- б. предельно недопустимым током
- в. неопредельно допустимым током

22. Отметьте правильный ответ

По какому условию выбирается сечение проводника?

- а. $I_{д} \geq I_{ном}$
- б. $I_{д} \leq I_{ном}$
- в. $I_{д} = I_{ном}$

23. Отметьте правильный ответ

При каком условии ток $I_{д}$ определяется с поправкой на температуру и количество прокладываемых кабелей?

- а. если условия окружающей среды отличаются от нормальных
- б. при нормальных условиях окружающей среды
- в. при взрывоопасных условиях окружающей среды

24. Отметьте правильный ответ

Как определяется значение допустимых токов?

- а. приводится в таблицах
- б. расчетным путем

в. графическим путем

25. Отметьте правильный ответ

Что представляет собой график нагрузки?

- а. кривую изменения нагрузки
- б. прямую средней нагрузки
- в. гиперболу изменения нагрузки

26. Отметьте правильный ответ

Как различают графики нагрузки по длительности рассматриваемого промежутка времени?

- а. временные
- б. годовые
- в. сменные

27. Отметьте правильный ответ

Как можно построить суммарный сменный график нагрузки цеха?

- а. по индивидуальным графикам путем наложения нагрузок
- б. по индивидуальным графикам путем деления нагрузок
- в. по групповым графикам

28. Отметьте правильный ответ

Как на действующих предприятиях строятся годовые графики нагрузок?

- а. по типовым графикам для двух типовых дней в год путем суммирования
- б. сумма всех суточных графиков за весь год
- в. сумма графиков нагрузки за каждый месяц

29. Отметьте правильный ответ

Что представляет собой годовой график нагрузки?

- а. кривую изменения убывающей нагрузки в течении года
- б. кривую изменения возрастающей нагрузки в течении года
- в. кривую изменения средней нагрузки

30. Отметьте правильный ответ

О чем дает наглядное представление график нагрузки?

- а. о характере потребления энергии электроустановками за рассматриваемый период
- б. об изменениях напряжения электроустановок за рассматриваемый период
- в. об изменениях потребляемой мощности за рассматриваемый период

31. Отметьте правильный ответ

Сколько существует категорий электроприемников по надежности электроснабжения?

- а. 3 категории
- б. 2 категории
- в. 5 категорий

32. Отметьте правильный ответ

Сколько источников питания должны обеспечивать электроэнергией электроприемники I категории?

- а. 2 независимых взаиморезирирующих источника питания
- б. 2 независимых друг от друга источника питания
- в. 1 источник питания

33. Отметьте правильный ответ

Группа потребителей какой категории является наиболее многочисленной?

- а. Пй - категории
- б. Ий - категории
- в. Шй - категории

34. Отметьте правильный ответ

На какое время допустимо отключение потребителей Пй категории?

- а. не более 2 часов
- б. не более 3 часов

в. не более 4 часов

35. Отметьте правильный ответ

На какое время допустимо отключение потребителей II категории?

- а. На время автоматического восстановления питания
- б. Не более 24 часов
- в. На время ручного восстановления питания

36. Сопоставить категорию электроснабжения и соответствующие ей электроприемники

- | | |
|--------------|--|
| 3я категория | Перерыв электроснабжения, которых повлечет за собой: опасность для жизни людей, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, повреждению основного дорогостоящего оборудования |
| 1я категория | Перерыв электроснабжения, которых повлечет за собой: массовый простой рабочих мест и механизмов, недовыпуск продукции, нарушению нормальной жизнедеятельности большого количества городских и сельских жителей |
| 2я категория | Перерыв в работе которых не повлечет за собой опасность для жизни людей и не вызовет массовый простой рабочих мест |

37. Отметьте правильный ответ

Для чего служат внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ?

- а. Для распределения электроэнергии внутри цехов предприятия
- б. Для распределения электроэнергии по всему предприятию
- в. Для распределения электроэнергии между цехами

38. Уберите неверный ответ

На какие виды делятся внутрицеховые сети?

- а. Магистральные
- б. Питающие
- в. Распределительные

39. Отметьте правильный ответ

Какие бывают внутрицеховые электрические сети по своей структуре?

- а. Радиальные, магистральные и смешанные
- б. Радиальные, магистральные и распределительные
- в. Радиальные, магистральные и питающие

40. Сопоставить в каком случае, какая схема применяется

- | | |
|---------------|--|
| Радиальная | при относительно равномерном распределении потребителей по территории цеха (участка) |
| Смешанные | при сосредоточенном распределении потребителей в отдельных помещениях или отдельной части цеха |
| Магистральная | в реальных цехах электроприемники располагаются как равномерно так сосредоточено |

41. Отметьте правильный ответ

Назначение распределительных сетей?

- а. Распределительные сети предназначены для распределения электроэнергии от отдельных узлов по большому количеству потребителей различной мощности
- б. Распределительные сети предназначены для распределения электроэнергии по отдельным помещениям
- в. Распределительные сети предназначены для распределения электроэнергии по территории трансформаторной подстанции

42. Отметьте правильный ответ

Назначение питающих сетей?

- а. Питающие сети предназначены для распределения электроэнергии от цеховой ТП по крупным узлам (распределительным пунктам (РП) и шинопроводам (ШРС))
- б. Питающие сети предназначены для питания отдельных крупных электроприемников
- в. Питающие сети предназначены для питания мелких потребителей

43. Отметьте правильный ответ

Какая связь между активной и реактивной мощностями?

а. $Q = P \times \operatorname{tg}\varphi$

б. $Q = P \times \cos\varphi$

в. $Q = P \times \sin\varphi$

44. Убрать неверный ответ

Каких мероприятий не бывает для компенсации реактивной мощности?

- а. Оперативных
- б. Технические
- в. Организационные

45. Отметьте правильный ответ

Во что преобразовывается активная энергия потребляемая электроприемниками?

- а. Преобразовывается в другой вид энергии, (механическую, тепловую и т.д.)
- б. Полностью расходуется на покрытие всех потерь в электрических сетях
- в. Для нормальной работы силовых трансформаторов на подстанциях

46. Отметьте правильный ответ

На что расходуется реактивная мощность Q?

- а. На создание магнитных полей в электродвигателях, трансформаторах, линиях
- б. На увеличение пропускной способности трансформаторов
- в. На снижение активных потерь в системах электроснабжения

47. Отметьте правильный ответ

Реактивная индуктивная мощность является?

- а. Потребляемой
- б. Генерируемой
- в. Компенсируемой

48. Отметьте правильный ответ

Что называется коэффициентом мощности электрической цепи?

- а. косинус угла между активной и полной мощностью из треугольника мощностей
- б. косинус угла между активной и реактивной мощностью из треугольника мощностей
- в. косинус угла между реактивной и полной мощностью из треугольника мощностей

49. Сопоставить термины и определения

Нагрузка электродвигателя

Кривая, показывающая изменение нагрузок за определенный (заданный) промежуток времени

Расчетная нагрузка по допускаемому нагреву

Мощность на валу двигателя, которую он развивает в данный момент времени

График нагрузки

Неизменная во времени 30-минутная нагрузка, которая вызывает такой же нагрев проводников сети или тепловой износ изоляции, как и реальная переменная во времени нагрузка

50. Отметьте правильный ответ

Какая должна быть расчетная максимальная мощность, потребляемая электроприемниками предприятия?

- а. должна быть меньше суммы номинальных мощностей этих электроприемников
- б. должна быть больше суммы номинальных мощностей этих электроприемников
- в. должна быть равна сумме номинальных мощностей этих электроприемников

51. Отметьте правильный ответ

Что обеспечивает правильное определение ожидаемых расчетных нагрузок?

- а. бесперебойность питания, надежность электроснабжения
- б. безопасность эксплуатации

- в. возможность эксплуатации сети без обслуживания

52. Отметьте правильный ответ

К чему приводит завышение ожидаемых нагрузок?

- а. к удорожанию строительства
- б. к уменьшению пропускной способности
- в. к нагреву проводов

53. Отметьте правильный ответ

Что необходимо иметь для расчета электрических нагрузок?

- а. перечень оборудования с указанием номинальных мощностей, месторасположения на генплане в масштабе 1:100
- б. перспективу развития предприятия на ближайшие 5 лет
- в. наименование предприятия и вид выпускаемой продукции

54. Отметьте правильный ответ

Какой метод является основным при расчете электрических нагрузок в сети до 1000В?

- а. метод упорядоченных диаграмм (коэффициента расчетной нагрузки)
- б. метод коэффициента спроса
- в. метод удельного потребления электроэнергии на единицу продукции

55. Отметьте правильный ответ

Для чего предназначены предохранители?

- а. Для защиты от тока к.з.
- б. Для защиты от перегрузки
- в. Для защиты от перенапряжений

56. Отметьте правильный ответ

Что является рабочим элементом предохранителя?

- а. Плавкая вставка
- б. Диэлектрический корпус
- в. Магнитный расцепитель

57. Уберите неверный ответ

Какими параметрами характеризуются предохранители?

- а. Номинальный ток электромагнитного расцепителя
- б. Номинальный ток предохранителя
- в. Номинальный ток плавкой вставки

58. Отметьте правильный ответ

При выборе предохранителя, какое из условий должно соблюдаться?

- а. $I_{ном.пр.} \geq I_{ном}$
- б. $I_{ном.пр.} \leq I_{ном}$
- в. $I_{ном.пр.} = I_{ном}$

59. Отметьте правильный ответ

По какому условию выбирается ток плавкой вставки предохранителя?

- а. $I_{п.в.} \geq \frac{I_{пик.}}{\alpha}$
- б. $I_{п.в.} \leq I_{пик.} \times \alpha$
- в. $I_{п.в.} \geq \frac{I_{ном.}}{\alpha}$

60. Отметьте правильный ответ

По каким параметрам строится характеристика предохранителя?

- а. По времени и току
- б. По току и напряжению
- в. По времени и мощности

61. Сопоставить термины и их определения

Номинальное напряжение	Совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования предназначенных для производства, трансформации, передачи, распределения электроэнергии и преобразования её в другой вид энергии, изменения рода тока, напряжения, частоты или числа фаз
Электроустановка	Аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электроэнергии в другой вид энергии
Электроприёмник	Напряжение обеспечивающие нормальную работу электрооборудования

62. Отметьте правильный ответ

Какого из перечисленных классов напряжения не существует в промышленности?

- а. 550 кВ
- б. 330 кВ
- в. 110 кВ

63. Сопоставить режим работы электроприёмника и его характеристику

Кратковременный режим	Температура отдельных частей машины за время работы не выходит за установленные пределы
Повторно-кратковременный	Рабочий период не настолько длителен, чтобы температура отдельных частей машины могла достичь установившегося значения, а период остановки настолько длителен, что машина успевает остыть до температуры окружающей среды
Продолжительный режим	Период работы не настолько длителен, чтобы отделенные части машины успели нагреться до установившегося значения, а период остановки настолько мал, что машина не успевает охладиться до температуры окружающей среды

64. Отметьте правильный ответ

Во сколько раз линейное напряжение отличается от фазного напряжения?

- а. $\sqrt{3}$
- б. $\sqrt{2}$

65. Отметьте правильный ответ

Каким показателем характеризуется повторно-кратковременный режим работы электроприёмника?

- а. Коэффициентом продолжительности включения (ПВ)
- б. Продолжительностью пауз при отключении
- в. Продолжительностью включения за один цикл

66. Отметьте правильный ответ

Как электроприёмники подразделяются по виду преобразования электроэнергии?

- а. Электроприводы, электротехнологические, осветительные
- б. Общепромышленные, подъемно-транспортные, сварочные
- в. Электрооборудование производственных механизмов

67. Отметьте правильный ответ

На основании чего производится расчет и выбор компенсирующих устройств?

- а. На основании задания энергосистемы
- б. На основании задания потребителя
- в. На основании задания метрологической службы

68. Отметьте правильный ответ

Какой недостаток устраняется за счет компенсирующего устройства?

- а. Недостаток реактивной энергии
- б. Недостаток активной энергии
- в. Недостаток полной мощности

69. Отметьте правильный ответ

Как определяется мощность компенсирующего устройства?

а. $Q_{ку} = P_{расч} \times (tg\varphi_1 - tg\varphi_2)$

б. $Q_{ку} = S_{расч} \times (tg\varphi_1 - tg\varphi_2)$

в. $Q_{ку} = Q_{расч} \times (tg\varphi_1 - tg\varphi_2)$

70. Отметьте правильный ответ

Источники реактивной мощности, на какое напряжение более экономичны?

а. 6-10 кВ

б. До 1 кВ

в. Выше 1 кВ

71. Отметьте правильный ответ

Пропорционально чему распределяется рассчитанная мощность компенсации между всеми трансформаторами цеха?

а. Реактивным нагрузкам

б. Активным нагрузкам

в. Напряжению

72. Отметьте правильный ответ

При выборе компенсирующего устройства на предприятиях с большим числом трансформаторов, что имеет решающее значение?

а. Число устанавливаемых трансформаторов

б. Число устанавливаемых компенсирующих устройств

в. Число устанавливаемых станков

73. Отметьте правильный ответ

По какому признаку разбиваются однофазные электроприемники на группы?

а. Равномерно по фазам

б. По месту расположения на отдельные группы

в. По номинальной мощности на крупные узлы (распределительные пункты и шинопроводы)

74. Отметьте правильный ответ

Допустимая не равномерность распределения потребителей по фазам?

а. 15%

б. 10%

в. 5%

75. Отметьте правильный ответ

Как определяется номинальная мощность группы однофазных электроприемников с неравномерностью распределения по фазам меньше 15%?

а. $\sum P_{НОМ} = \sum P_{НОМ.ФАЗНЫ}$

б. $\sum P_{НОМ} = 3 \times \sum P_{МИН.ФАЗНЫ}$

в. $\sum P_{НОМ} = \sqrt{3} \times \sum P_{НОМ.ФАЗНЫ}$

76. Отметьте правильный ответ

Как определяется номинальная мощность группы однофазных электроприемников с неравномерностью распределения по фазам выше 15%?

а. $\sum P_{НОМ} = 3 \times \sum P_{МАХ.ФАЗНЫ}$

б. $\sum P_{НОМ} = 3 \times \sum P_{НОМ.ФАЗНЫ}$

в. $\sum P_{НОМ} = \sqrt{3} \times \sum P_{НОМ.ФАЗНЫ} \times \sum P_{НОМ}$

77. Отметьте правильный ответ

Как определяется активная расчетная мощность группы однофазных электроприемников?

а. $P_{РАСЧ} = 3 \times K_{И} \times K_{М} \times \sum P_{НОМ}$

б. $P_{РАСЧ} = \sqrt{3} \times K_{II} \times K_M \times \sum P_{НОМ}$

в. $P_{РАСЧ} = 3 \times K_{II} \times n_{ЭФ} \times \sum P_{НОМ}$

78. Отметьте правильный ответ

Как определяется реактивная расчетная мощность группы однофазных электроприемников?

а. $Q_{РАСЧ} = 1,1 \times K_{II} \times \sum Q_{НОМ}$

б. $Q_{РАСЧ} = 3 \times K_{МАХ} \times \sum Q_{НОМ}$

в. $Q_{РАСЧ} = \sqrt{3} \times K_{II} \times \sum Q_{НОМ}$

79. Уберите неверный ответ

Чем должны защищаться электросети и электроприёмники напряжением до 1000 В?

а. Маломасляными выключателями

б. Предохранителями

в. Автоматическими выключателями

80. Отметьте правильный ответ

Для защиты от чего предназначены предохранители?

а. От токов короткого замыкания

б. От перенапряжений

в. От перегрузки

81. Отметьте правильный ответ

К чему может привести чрезмерно высокая температура нагрева проводника?

а. К преждевременному износу и старению изоляции

б. К улучшению его работы

в. К целесообразной эксплуатации электрической сети

82. Отметьте правильный ответ

С чего начинается расчет сети по нагреву?

а. С выбора марки проводника

б. С выбора длины проводника

в. С выбора защитной аппаратуры

83. Отметьте правильный ответ

Может ли защитный аппарат выполнять несколько функций?

а. Да

б. Нет

84. Отметьте правильный ответ

Что происходит с проводниками электрических сетей от прохождения по ним тока выше номинального?

а. Нагреваются выше допустимых значений

б. Усиленно охлаждаются

в. Ничего не происходит

85. Отметьте правильный ответ

Для чего необходима проверка защищенности сетей защитными аппаратами от токов к.з.?

а. Для обеспечения целостности проводника

б. Для выбора защитной аппаратуры

в. Для выбора сечения проводника

86. Отметьте правильный ответ

По какому условию проверяем защищенность сетей защитными аппаратами от токов к.з.?

а. $I_{Д} \geq I_{З} \times K_{З}$

б. $I_{Д} \leq I_{З} \times K_{З}$

в. $I_{Д} = I_{З} \times K_{З}$

87. Отметьте правильный ответ

Что такое $K_{З}$?

- а. Коэффициент защиты
- б. Коэффициент загрузки
- в. Коэффициент замыкания

88. Отметьте правильный ответ

Как определяется коэффициент защиты (Кз)?

- а. Приведен в таблице
- б. Расчетным путем
- в. Аналитическим путем

89. Отметьте правильный ответ

Какой документ устанавливает соотношение между токами защитных аппаратов?

- а. ПУЭ
- б. СНиП
- в. ГОСТ

90. Отметьте правильный ответ

С чем следует сравнивать сечение проводника, соответствующее длительного допустимому току нагрева?

- а. С током срабатывания аппаратов защиты
- б. С током защиты
- в. С номинальным током

91. Отметьте правильный ответ

Как определяется продольная составляющая потери напряжения?

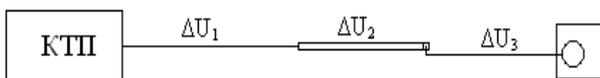
- а. $\Delta U = I \times r \times \cos \varphi_2 + I \times x \times \sin \varphi_2$
- б. $\Delta U = I \times x \times \cos \varphi_2 + I \times r \times \sin \varphi_2$
- в. $\Delta U = I \times r \times \sin \varphi_2 + I \times x \times \cos \varphi_2$

92. Отметьте правильный ответ

Как определяется поперечная составляющая потери напряжения?

- а. $\delta U = I \times x \times \cos \varphi_2 - I \times r \times \sin \varphi_2$
- б. $\delta U = I \times r \times \cos \varphi_2 - I \times x \times \sin \varphi_2$
- в. $\delta U = I \times x \times \sin \varphi_2 - I \times r \times \cos \varphi_2$

93. Как определить общие потери напряжения для сети приведенной на схеме?



- а. $\Delta U_{\text{ОБЩ}} = \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3$
- б. $\Delta U_{\text{ОБЩ}} = \frac{\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3}{U_{\text{НОМ}}} \times 100\%$
- в. $\Delta U_{\text{ОБЩ}} = \sqrt{3} \times (\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3)$

94. Определить потери напряжения для участка сети с параметрами?

$I_{\text{НОМ}} = 25 \text{ A};$

$\cos \varphi = 0,5;$

$\sin \varphi = 0,8;$

$L = 50 \text{ м};$

$r_0 = 4,25 \text{ ом/км};$

$x_0 = 1,25 \text{ ом/км}$

- а. $\Delta U = 6,8 \text{ (В)}$

б. $\Delta U = 3,4$ (В)

в. $\Delta U = 11,6$ (В)

95. Отметьте правильный ответ

Выразить потерю напряжения в процентах (%)

при исходных данных:

$U_{\text{ном}} = 380$ В

$\Delta U = 12,8$ В

- а. 3,37 % б. 2,58 % в. 4,31 %

96. Отметьте правильный ответ

Как определяется удельное активное сопротивление проводника?

$\frac{1000}{\gamma \times S}$

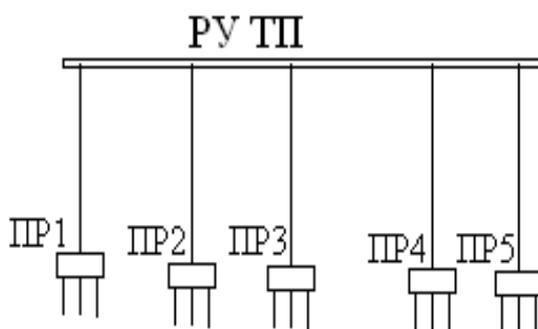
а. $r_o = \frac{1000}{\gamma \times S}$ (ом/км)

б. $r_o = 1000 \times \gamma \times S$ (ом/м)

в. $r_o = 1000 \times \gamma \times x_o$ (ом/км)

97.

Какая схема изображена на рисунке?



- а. Радиальная схема
б. Магистральная схема
в. Смешная схема

98. Отметьте правильный ответ

Какой недостаток у радиальных схем?

- а. Малая экономичность, большое число защитной и коммутационной аппаратуры
б. Низкая надежность электроснабжения
в. Упрощает конструкции цеховой подстанции

99. Отметьте правильный ответ

Какие схемы наиболее часто применяются в производственных цехах?

- а. Радиальная схема
б. Магистральная схема
в. Смешная схема

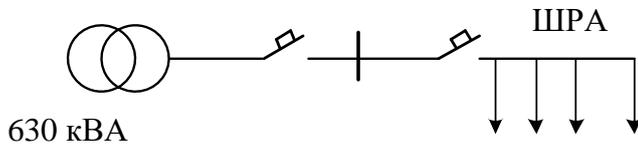
100. Отметьте правильный ответ

Разновидностью, каких схем являются схема БТМ (блок трансформатор-магистраль)?

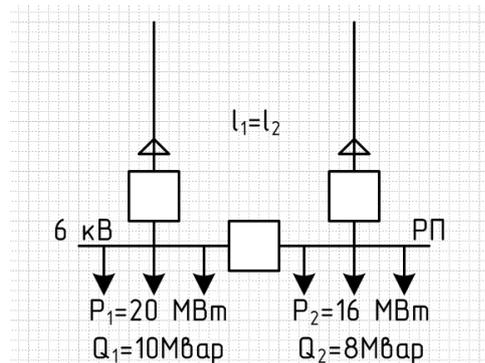
- а. Магистральная схема
б. Радиальная схема
в. Смешная схема

Задачи по дисциплине «Электроснабжение специальных объектов»

1. Выбрать ШРА, питающего нагрузку 500 кВт, $\cos\phi=0.8$.



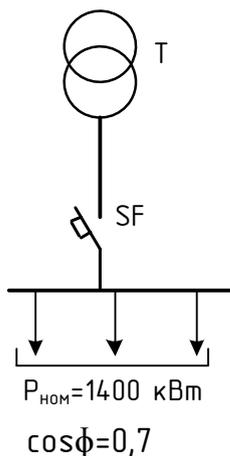
2. Выбрать сечение жил кабеля l_1 и l_2 . Приведите алгоритм расчета. Какие дополнительные данные необходимы для конкретного расчета?



3. Выбрать силовые трансформаторы ГПП, если $P_p=52$ МВА, $Q_p=45$ Мвар. Состав потребителей: I - 20% ; II - 30% ; III - 50%

4. Определить полную мощность группы электроприёмников, если суммарная номинальная мощность их равна $P_{ном}$ 500 кВт, коэффициент использования $K_{и}$ 0,3, $tg\phi_{ср}$ 0,4. Известно, что максимальная мощность одного электроприёмника P_{max} 45 кВт.

5.

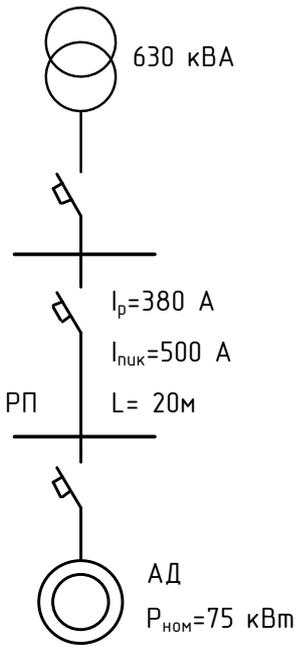


Для всех потребителей схемы, показанной на рисунке $K_c=0,5$. В составе нагрузок имеется асинхронный двигатель с $P_{ном}=120$ кВт и $K_n=0,4$.

1) Выбрать тип автоматического выключателя SF и его уставку по току расцепителя.

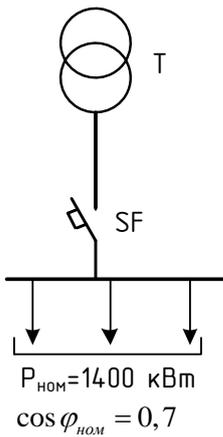
2) Выбрать мощность трансформатора Т.

6.



Выбрать сечение кабеля к РП и автомат к двигателю. Рассчитать токи КЗ

7.

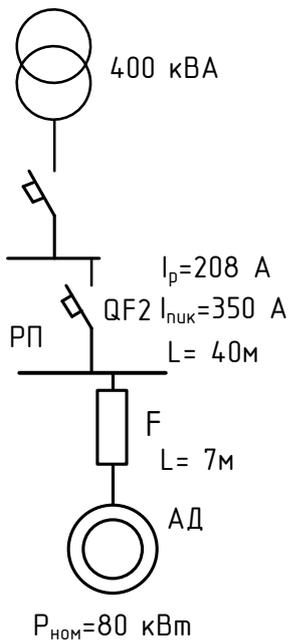


Для всех потребителей схемы $K_c=0,5$. В составе нагрузок имеется двигатель с $P_{ном}=150$ кВт и $K_n=0,6$.

1) Выбрать тип автоматического выключателя SF и его уставку по току расцепителя.

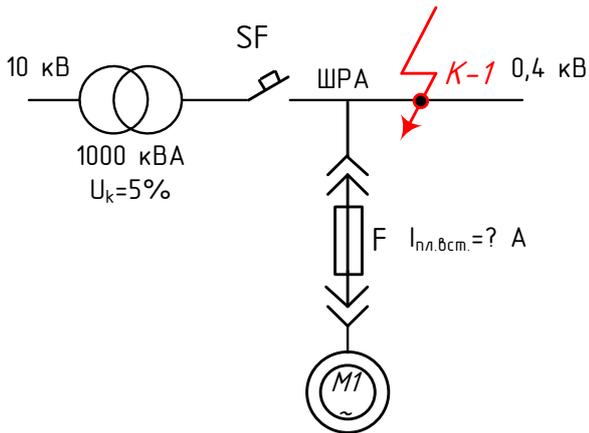
2) Какая группа соединения обмоток должна быть у трансформатора?

8.



Рассчитать токи КЗ на РП, выбрать QF2 и F, выбрать сечение провода к двигателю.

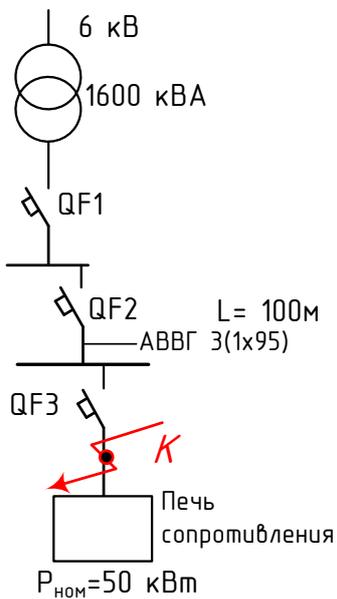
9.



1. Приведите алгоритм расчета тока КЗ $I_k^{(1)}$ в точке К1. Какие дополнительные данные необходимы для конкретного примера?

2. Выберите ток плавкой вставки $I_{пл.вст.}$ для защиты двигателя М1, если его мощность $P_{ном}=1,5$ кВт.

10.

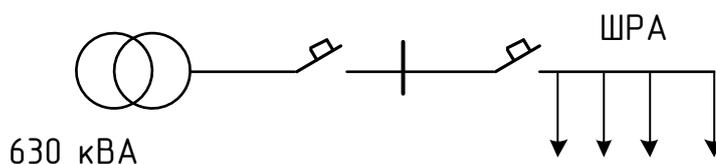


Выбрать сечение кабеля к печи сопротивления, автомат QF3, рассчитать ток КЗ в точке К. Длина кабеля к печи 10 м.

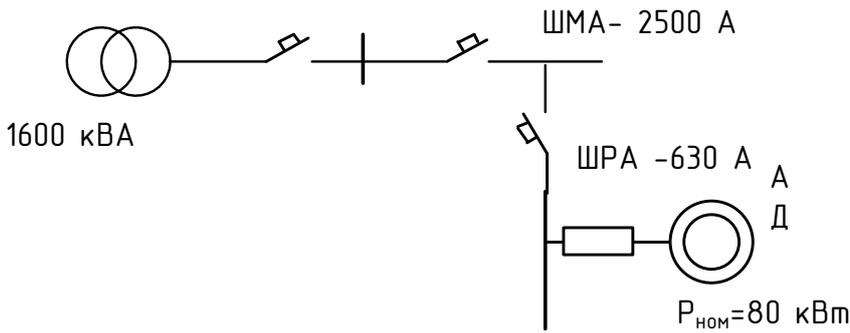
11. От ГПП получают питание объекты космодрома «Восточный». Суммарная длина кабельных линий, подключенных к другой секции шин напряжением 10 кВ составляет 50 км. Что нужно сделать для обеспечения надежной работы нейтрали? Ответ обосновать количественно.

12.

Выбрать ШРА, питающего нагрузку 500 кВт, $\cos\phi=0.8$.



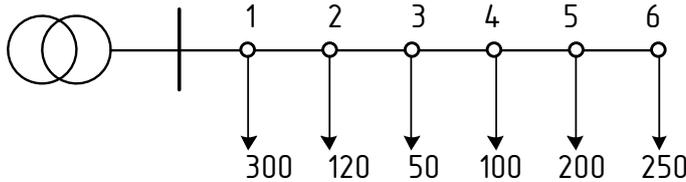
13.



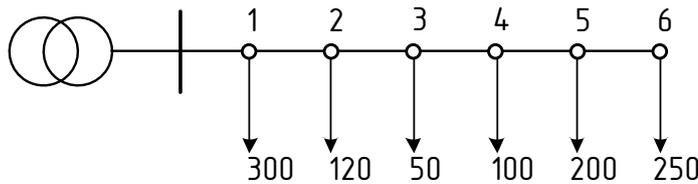
Выбрать АВ для ШРА, сечение провода к двигателю и рассчитать ток трехфазного кз на шинах ктп.

14. К шинам ГПП подключены кабельные линии суммарной длины 75 км. Напряжение на шинах 10 кВ. Решить вопрос о целесообразности компенсации емкостных токов замыкания на землю и выбрать при необходимости соответствующий аппарат.

15. Определить место присоединения двух НБК к магистральному шинопроводу $Q_p=920$ квар, $Q_{HKФ}=300 + 400$ квар. И провести баланс по РП, от которой питается данный объект, если там же подключены 1 КТП с $P_p=0,48$ кВт, $Q_p=1000$ квар и 5 СД с $P_H=2000$ кВт, $\beta=0.8$, $\cos\phi=0.9$, КПД =0,9.

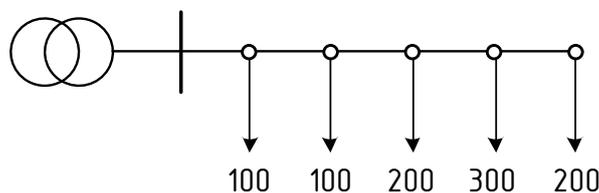


16. Определить место присоединения двух НБК к магистральному шинопроводу $Q_p=920$ квар, $Q_{HKФ}=300 + 400$ квар. И провести баланс по РП, от которой питается данный объект, если там же подключены 1 КТП с $P_p=0,48$ кВт, $Q_p=1000$ квар и 5 СД с $P_H=2000$ кВт, $\beta=0.8$, $\cos\phi=0.9$, КПД =0,9.



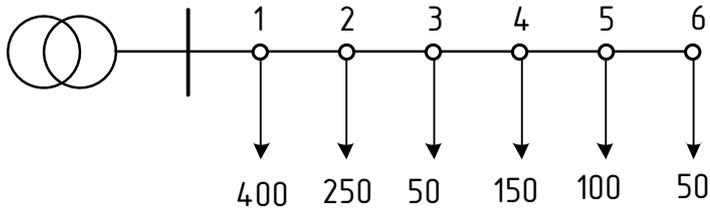
17.

Найти место установки ККУ, если $P_p=1200$ кВт, $Q_p=900$ квар. КТП питается по радиальной линии длиной 0,5 км. Комплекс работает в 2 смены и расположен на Дальнем Востоке. Провести баланс по РП, от которой так же питаются 3 трансформатора 10/0,4 кВ, $P_{1p}=680$ кВт, $Q_{1p}=700$ квар, $P_{2p}=P_{3p}=730$ кВт, $Q_{2p}=Q_{3p}=1000$ квар.

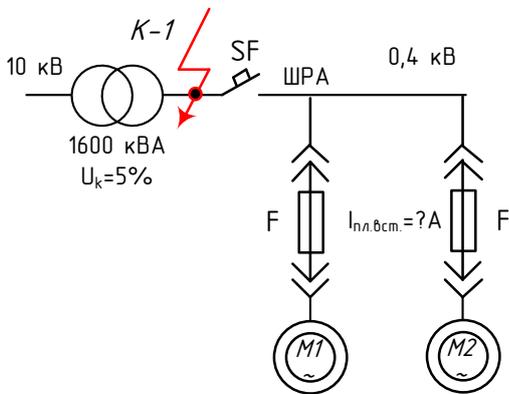


18.

Определить место присоединения двух НБК к магистральному шинному ряду $P_p=1350$ кВт, $Q_p=1000$ квар. И произвести балансировочный расчет по ГПП, от которой питаются 10 КТП с данными $P_1=780$ кВт, $Q_1=700$ квар, $P_2=P_3=1200$ кВт, $Q_2=Q_3=940$ квар.

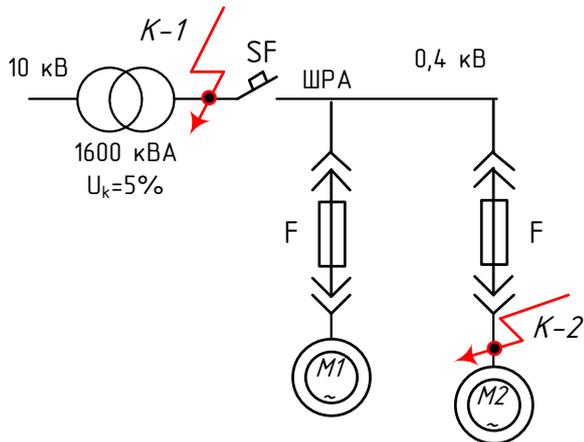


19.



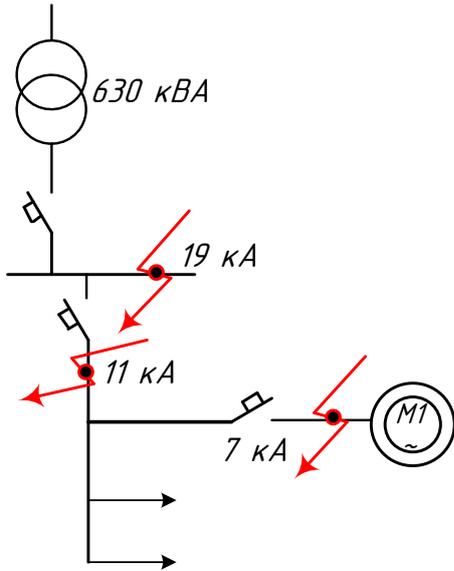
1. Рассчитайте ток $I_{кз}^{(3)}$ в точке K1.
2. Выберите ток плавкой вставки $I_{пл.вст.}$ для защиты двигателя M1, если его мощность $P_{ном}=5$ кВт.

20.



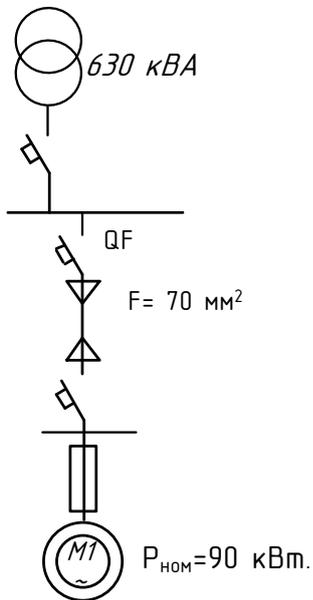
Рассчитать ток КЗ и выбрать плавкую вставку для двигателя мощность 10 кВт. ШРА длиной 50 м до двигателя 10 кВт. Сечение ШРА принять по его току равному 400 А.

21.



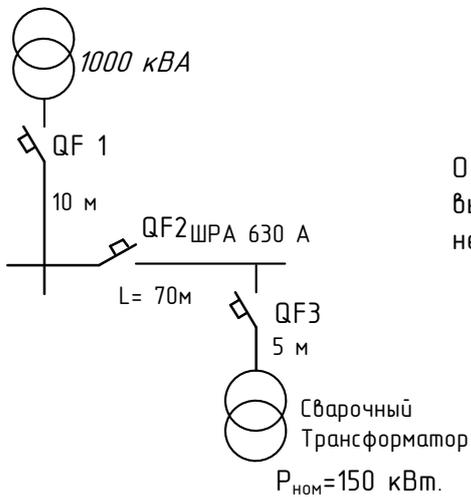
Выбрать уставку АВ для защиты двигателя мощности 20 кВт.

22.



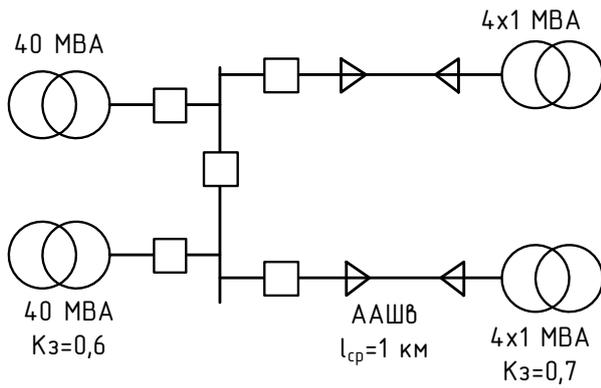
Выбрать сечение кабеля к двигателю, предохранитель и автомат QF. Рассчитать токи КЗ.

23.



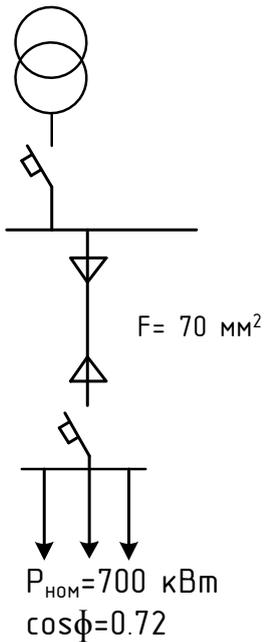
Определить сечение кабеля к нагрузке, выбрать автомат QF3, определить токи КЗ, необходимые для выбора автомата.

24.



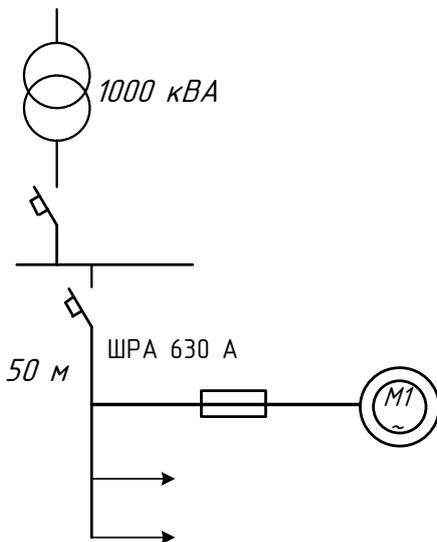
Определить потери электроэнергии для схемы, выбрав сечение КЛ.

25.



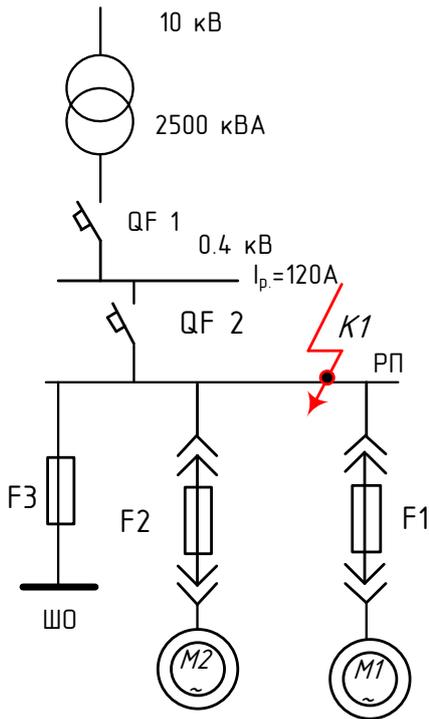
Выбрать кабель, если в составе нагрузок имеется АД мощностью 90 кВт. $K_{u\text{cp}}=0,4$, в **отделении** **запитанным** **от** **рассматриваемого** **кабеля**

26.



Выбрать ток плавкой вставки для защиты двигателя мощностью 2 кВт. Рассчитать ток КЗ на шинах КТП.

27.



Для M1: $P_{\text{ном}}=30$ кВт, $K_n=2$

Для M2: $P_{\text{ном}}=20$ кВт, $K_n=6$

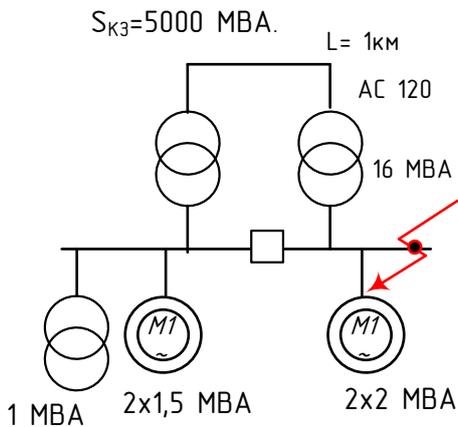
Для ШО: $P_{\text{ном}}=40$ кВт.

Длина кабеля к РП = 40 м.

Длина провода к двигателю = 5 м.

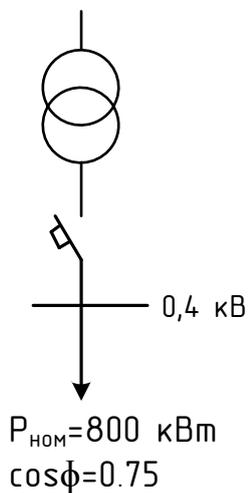
Выбрать F1, QF 2, сечение кабеля к РП и рассчитать ток однофазного КЗ в точке K1.

28.



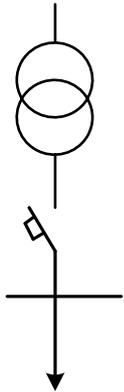
Рассчитать токи КЗ для схемы и предусмотреть меры для их ограничения в случае необходимости.

29.



Выбрать АВ, если в составе нагрузок имеется АД с мощностью 150 кВт и $K_u=0,6$. Какая группа соединения обмоток должна быть у трансформатора и почему?

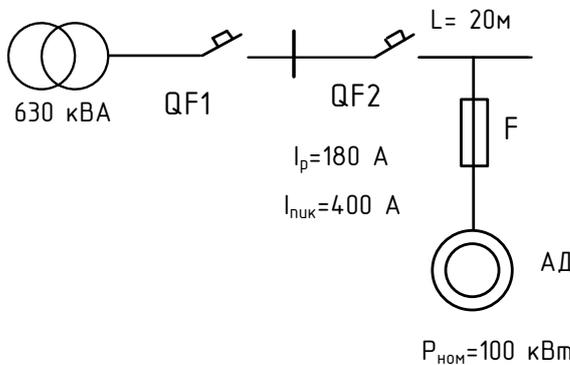
30.



$P_{\text{ном}}=1400 \text{ кВт}$
 $\cos\phi=0.7$

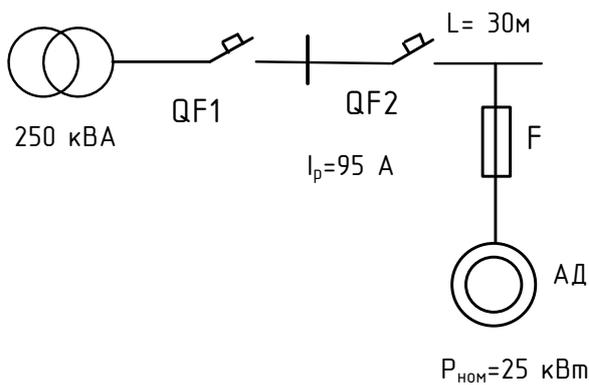
Выбрать тип АВ и его уставки. В составе нагрузок имеется двигатель АД с мощностью 120 кВт и $K_u=0,4$.

31.



Выбрать сечение проводника к двигателю, предохранитель F и автомат QF2. Рассчитать токи КЗ, необходимые для выбора автомата

32.



Выбрать сечение проводника к двигателю, предохранитель F и автомат QF2. Рассчитать токи КЗ.

Комплекты домашних заданий, контрольных работ

Комплекты домашних заданий выполнены по темам, каждая из которых содержит 15-25 задач. Задачи варьируются случайным образом при выдаче студентам. Ниже приводятся примеры индивидуальных домашних заданий.

Полный комплект заданий находится у лектора.

Критерии оценки решаемых задач:

оценка «отлично»: ответ на вопрос задачи дан правильный. Объяснение хода ее решения подробное, последовательное, грамотное, с теоретическими обоснованиями (в т.ч. из лекционного курса), с необходимым схематическими изображениями. Ответы на дополнительные вопросы верные, четкие.

оценка «хорошо»: ответ на вопрос задачи дан правильный. Объяснение хода ее решения подробное, но недостаточно логичное, с единичными ошибками в деталях, некоторыми затруднениями в теоретическом обосновании (в т.ч. из лекционного материала), в схематических изображениях. Ответы на дополнительные вопросы верные, но недостаточно четкие.

оценка «удовлетворительно»: ответ на вопрос задачи дан правильный. Объяснение хода ее решения недостаточно полное, непоследовательное, с ошибками, слабым теоретическим обоснованием (в т.ч. лекционным материалом), со значительными затруднениями и ошибками. Ответы на дополнительные вопросы недостаточно четкие, с ошибками в деталях.

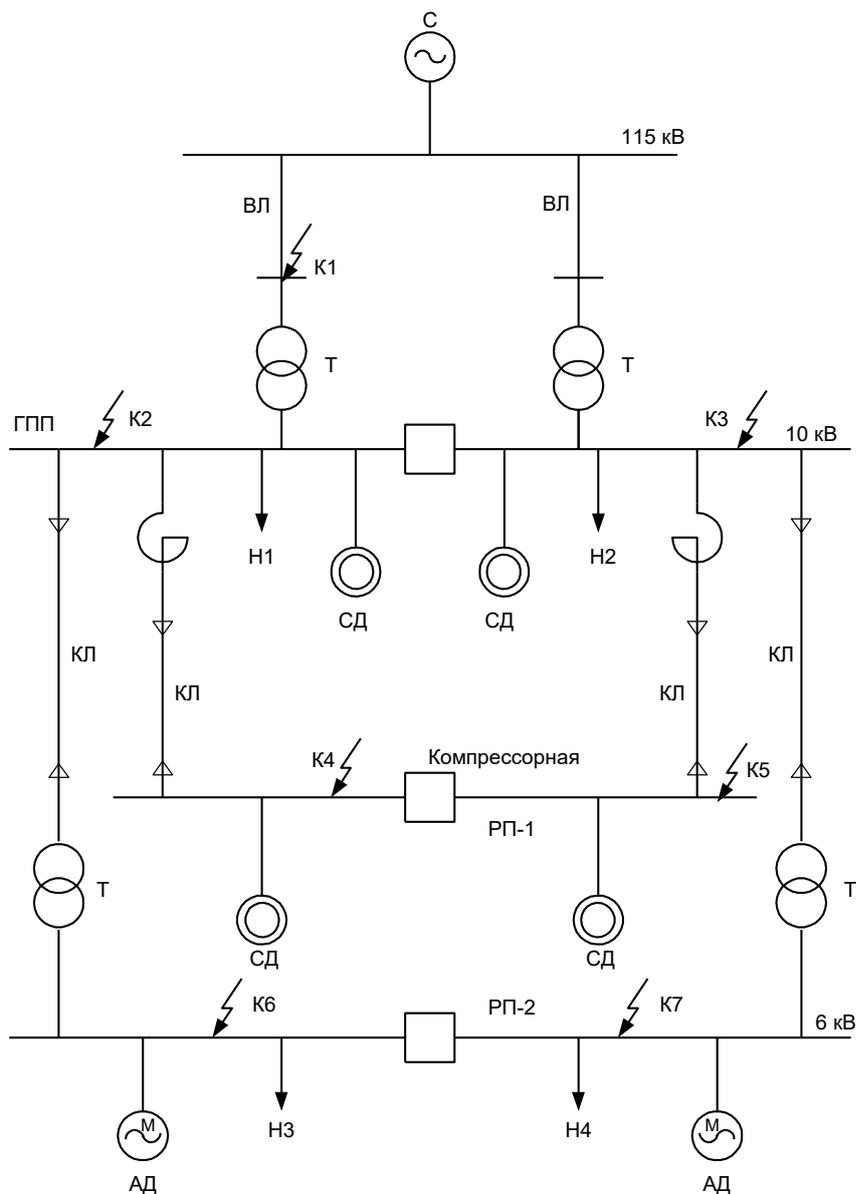
оценка «неудовлетворительно»: ответ на вопрос задачи дан не правильный. Объяснение хода ее решения дано неполное, непоследовательное, с грубыми ошибками, без теоретического обоснования (в т.ч. лекционным материалом), без умения схематических изображений или с большим количеством ошибок. Ответы на дополнительные вопросы неправильные или отсутствуют.

Задача №1

Рассчитать токи трехфазного короткого замыкания в схеме, показанной на рис. Исходные данные для расчета представлены в табл. Дано: двухцепная ЛЭП с проводами марки АС, синхронные двигатели – типа СТД, асинхронные двигатели – АЗМ, $\cos\varphi$ равен 0,8 для всей нагрузки, показанной на схеме. Проверить необходимость установки реакторов.

Исходные данные к расчету	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Точка КЗ	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8	К4	К3
Мощность КЗ системы, МВА	3000	∞	5000	2000	2500	5000	4000	∞	2000	2500
Мощность тр-ров ГПП, МВА	63	40	80	16	25	40	80	63	25	16
Сечение ЛЭП, мм ²	150	120	185	95	120	150	240	185	120	95
Длина ЛЭП, км	5	10	15	7	9	12	8	3	10	14
Нагрузка, МВА										
Н1	10	8	11	2	4	8	14	6	5	2
Н2	8	7	12	1	5	7	12	5	7	1
Н3	0,8	1	3	1	2	1	2	1,26	1,6	1
Н4	2,5	1	2	2	1	2,5	4	2	1	2
Число и мощность СД на каждой секции шин ГПП, МВт	3x4	2x3,15	3x5	2x1	3x2	2x4	4x5	3x3,15	2x2	2x1
Число и мощность СД на каждой секции шин РП-1, МВт	5x1,6	3x2,5	2x3	2x1,25	2x1	3x2	2x5	3x4	4x1	3x0,8
Число и мощность АД на каждой секции шин РП-2, МВт	3x3,2	2x2,5	4x4	2x1	2x1,6	2x2,5	2x3,2	3x4	3x1	5x0,5
Мощность трансформаторов РП-2, МВА	10	10	25	4	4	10	10	16	4	6,3
Длина кабельной линии до РП-1, км	1	1,5	2	0,5	0,8	1,2	1,6	1,8	1,5	1
Длина кабельной линии до РП-2, км	1	2	1	1,3	1,1	1	1,4	1,5	2	1

Недостающие для расчета исходные данные определить по справочникам. Сечение кабельных линий выбрать по нагрузке перед расчетом токов КЗ, а после расчета проверить на действие токов КЗ.



Задача №2

Выбрать элемент схемы электроснабжения, указанной в табл., используя результаты расчета первой задачи.

Номер варианта	Элемент схемы
1	Выключатель 110 кВ
2	Сборные шины 10 кВ
3	Вводной выключатель 10 кВ
4	Трансформатор тока на вводе РП-1
5	Трансформатор напряжения 1 секции шин ГПП
6	Секционный выключатель РП-2
7	Опорные и проходные изоляторы РП-2
8	Ячейка КРУ отходящего присоединения к СД РП-1
9	Выключатель присоединения к СД РП-1
10	Трансформатор тока на нагрузке ГПП

Задача №3

Выбрать экономически целесообразное напряжение и схему распределительной сети, число и мощность трансформаторов ГПП, если напряжение питающей линии 110 кВ, $K_p=1$. Исходные данные приведены в табл.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Суммарная расчетная мощность ЭД 6 кВ, МВА	1	1,5	2	1,8	2,2	1,7	2,1	1,2	1,4	3
Средний tg φ ЭД	0,75	0,72	0,7	0,6	0,73	0,77	0,66	0,79	0,65	0,8
Суммарная активная расчетная нагрузка КТП, МВт	24	30	35	28	33	40	37	25	31	27
Суммарная реактивная расчетная нагрузка КТП, Мвар	12	15	20	18	17	23	15	17	19	16
Коэффициент одновременности максимальной нагрузки на шинах ГПП	0,95	0,92	0,9	0,93	0,94	0,95	0,92	0,94	0,93	0,9
Средняя напряженность распределительной сети при радиальной схеме, км	0,9	0,4	1	0,5	0,6	0,7	0,8	1	0,9	0,8
Средняя напряженность кабельной распределительной сети при схеме двойной сквозной магистрали, км	1	0,7	0,9	0,8	0,5	0,9	0,4	0,5	0,9	0,6
Отношение числа часов работы предприятия в году к числу часов использования максимума нагрузки	1,35	1,32	1,3	1,34	1,23	1,25	1,27	1,29	1,31	1,3

Предприятие расположено на Дальнем Востоке.

Недостающие справочные данные принять по справочной литературе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кудрин Б.И. Системы электроснабжения [Текст] : учеб. пособие. : рек. УМО / Б. И. Кудрин. – М.: Издат. центр Академия, 2011. - 352 с.
2. Коробов Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование [Текст] : учеб. пособие / Г. В. Коробов, В. В. Картавцев, Н. А. Черемисинова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2011. - 192 с.- (ЭБС Лань)
3. Алиев, И.И. Электротехника и электрооборудование : справ./ И. И. Алиев. -М.: Высш. шк., 2010. -1199 с.
4. Макаревич Л. В. Высоковольтное электротехническое оборудование для развития «интеллектуальной» Единой энергосистемы России — Круглый стол «Умные сети — Умная энергетика — Умная экономика», Петербургский международный экономический форум, 17 июня 2010 г., (www.fsk-ees.ru).
5. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию предприятий и общественных зданий [Текст] / ред. С. И. Гамазин, Б. И. Кудрин, С. А. Цырук. – М.: Издат. дом МЭИ, 2010. – 745 с.
6. Жданов В. С. Проблемы и задачи проектирования беспроводных сенсорных сетей / Информационные, сетевые и телекоммуникационные технологии: сборник научных трудов / под ред. проф. д.т.н. Жданова В. С. — М.: МИЭМ, 2009.
7. Кужеков, С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию [Текст] / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - 3-е изд. - Ростов н/Д : Феникс, 2009. - 493 с. : ил. - (Профессиональное мастерство). - Библиогр. : с. 480.
8. Справочник по проектированию электрических сетей [Текст] / под ред. Д. Л. Файбисовича. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : ЭНАС, 2009. - 391 с.- (ЭБС Лань).
9. Электротехнический справочник : В 4 т./ Под общ.ред. В.Г. Герасимов, Под общ. ред. А.Ф. Дьяков, Под общ. ред. Н.Ф. Ильинский, Гл. ред. А.И. Попов Т. 3 : Производство, передача и распределение электрической энергии : справочное издание. -2009. -964 с.- (ЭБ НЭЛБУК)
10. Синенко, Л. С. Электроснабжение: учеб. пособие к практ. занятиям / Л. С. Синенко, Е. Ю. Сизганова, Ю. П. Попов. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – 147 с. – (Электроснабжение : УМКД № 176-2007 / рук. творч. коллек- тива Ю. П. Попов).
11. Правила устройства электроустановок. М. : Энергоатомиздат, 2007. 648с.
12. Электроснабжение: метод. указания к выполнению лаб. работ / сост. А. С. Амузаде. – Красноярск, 2007.
13. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Б. И. Кудрин. – 2-е изд. – М. : Интер- мет Инжиниринг, 2006. – 672 с.
14. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения [Текст] : справ.: учеб. пособие: рек. УМО / Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА - М, 2006. - 480 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 473 .
15. Буре А.Б. Компенсация реактивной мощности и выбор фильтрующих устройств в сетях промышленных предприятий : учеб. пособие/ А. Б. Буре, И. А. Мосичева. -М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2004. -28 с.
16. Гремяков, Андрей Андреевич. Автоматизация расчетов систем электроснабжения [Текст] : лаборатор. практикум: учеб. пособие / А. А. Гремяков. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2004. - 47 с. : рис., табл.
17. Рожин, А.Н. Учебное пособие: Системы электроснабжения. Киров 2004г.
18. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов : Учеб. пособие/ Е.А.Конюхова. - М.: Мастерство, 2002. -319 с.
19. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2000, – 252 с.
20. Нормативы для определения расчетных электрических нагрузок зданий (квартир), коттеджей, микрорайонов (кварталов) застройки и элементов городской распределительной сети. Министерство топлива и энергетики Российской Федерации. – М., 1999. 12 с.

21. РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. Министерство топлива и энергетики Российской Федерации. – М., 1999. 32 с.
22. Каждан А.Э. Рабочая программа, методические указания и контрольные задания по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий». Новочеркасск: НГТУ, 1994. 43 с.
23. Методические указания по основам построения промышленных электрических сетей / Сост.: А.Э. Каждан; Новочеркасск: НПИ, 1992. 28 с.
24. Справочная книга для проектирования электрического освещения / под ред. Г. М. Кнорренга. – СП: Энергия 1992г,
25. Шидловский А.К., Вагин Г.Я., Куренный Э.Г. Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий. М. : Энергоатомиздат, 1992. 224 с.
26. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / под ред. Ю. Г. Барыбина [и др.]. -М.: Энергоатомиздат, 1991. - 464 с.
27. Липкин, Борис Юльевич. Электроснабжение промышленных предприятий и установок [Текст] : учеб. / Б. Ю. Липкин. – М.: Высшая школа, 1990. - 368 с.
28. Справочник по проектированию электроснабжения /Под ред. Ю.Г. Барыбина, Л.Е. Федорова, М.Г. Зименкова и др. М. : Энергоатомиздат, 1990. 576с.
29. Л. Л. Коновалова, А. Д. Рожкова. Электроснабжение промышленных предприятий и устройств. – М: Энергоатомиздат 1989г.
30. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
31. Козлов, В.А. Электроснабжение городов. - Л.: Энергоатомиздат, 1988, 264с.
32. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учеб. пособ. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
33. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987. 336 с.
34. Козлов, В.А., Н.И. Билин, Д.Л. Файбисович. Справочник по проектированию электроснабжения городов. - Л.: Энергоатомиздат, 1986, 256с.
35. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 1986. 168 с.
36. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. М. : Энергоатомиздат, 1985. 224 с.
37. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий / Под ред. Федорова А.А. Т.1, Т.2. М: – Энергоатомиздат, 1984, 1985.
38. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоиздат, 1984, – 416 с.
39. Проектирование систем электроснабжения: Учеб. Пособие для вузов / В.Н. Винославский, А.В. Праховник, Ф. Клеппель и др. Киев: Вища шк., 1981. 360 с.
40. Проектирование промышленных электрических сетей / В.И. Крупович, А.А. Ермилов, В.С. Иванов и др. М. : Энергия, 1979. 328 с.
41. Ермилов А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. М. – Л.: Госэнергоиздат, 1963. 344с.; М.: Энергия, 1976. 368 с.
42. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для вузов. М.: Энергия, 1973. 584 с.
43. Контроль и учет электроэнергии в современных системах электроснабжения [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В.И. Васильченко [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2011.— 243 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/28351>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

44. Фролов, Ю.М. Основы электроснабжения. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2012. — 432 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/4544>
45. Матюнина Ю.В., Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Матюнина Ю.В., Кудрин Б.И., Жилин Б.В.. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2013. — 412 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72340>
46. Розанов Ю.К., Основы современной энергетики. Том 2. Современная электроэнергетика. [Электронный ресурс] : учеб. / Розанов Ю.К., Старшинов В.А., Серебрянников С.В.. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2010. — 632 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72256>
47. Анчарова Т.В., Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий. [Электронный ресурс] : справ. / Анчарова Т.В., Бодрухина С.С., Буре А.Б.. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2010. — 745 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72291>
48. Шлейников В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Шлейников В.Б., Сазонова Т.В.— Электрон. текстовые данные.— Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2012.— 110 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/30146>. — ЭБС «IPRbooks», по паролю
49. Модели и методы прогнозирования электроэнергетики и мощности при управлении режимами электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : монография / Т.А. Филиппова, А.Г. Русина, Ю.В. Дронова. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2009. — 365 с. — Режим доступа : <http://www.iprbookshop.ru/>
50. Основы современной энергетики. Том 1. Современная теплоэнергетика. [Электронный ресурс] : учеб. / Трухний А.Д. [и др.]. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2010. — 472 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72255>
51. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ю. В. Мясоедов ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014. - 127 с. : рис. http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7094.pdf
52. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Ч. 2. Электроснабжение жилых домов с улучшенной планировкой и коттеджей / Ю. В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И. Г. Подгурская ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2015. - 162 с. http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7366.pdf
53. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов [Электронный ресурс] : метод. указ. к практ. занятиям / Ю. В. Мясоедов ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014. - 62 с. http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7016.pdf
54. Системы электроснабжения промышленных объектов и городов [Электронный ресурс] : метод. указ. к лаб. занятиям / Ю. В. Мясоедов ; АмГУ, Эн. ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2014. - 77 с. Режим доступа: http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7018.pdf
55. Интеллектуализация систем электроснабжения [Электронный ресурс] : моногр. / Ю. В. Мясоедов, Н. В. Савина ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 156 с. http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7404.pdf
56. Интеллектуальные системы электроснабжения [Электронный ресурс] : метод. указания к лаб.-практ. занятиям / Ю. В. Мясоедов ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2013. - 82 с. https://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7473.pdf
57. Электроснабжение городов: учебное пособие / Сост.: Ю.В. Мясоедов, Л. А. Мясоедова, И.Г. Подгурская.- Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. – 106 с. Режим доступа: https://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7123.pdf
58. Электроснабжение городов. Методические указания к курсовому проектированию / сост.: Мясоедов Ю.В. - Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 100 с. Режим доступа: https://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7475.pdf