

2966



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Электроснабжение»

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Рабочая программа, методические указания
и контрольные задания

Минск 2006

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Электроснабжение»

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ

Рабочая программа, методические указания
и контрольные задания
для студентов заочной формы обучения
специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

М и н с к 2 0 0 6

УДК 658.26:621.311(075.8)

~~ББК 31.29-5я7~~

Э 45

Составители:

В.Н. Сацукевич, Л.В. Прокопенко

Рецензенты:

М.И. Фурсанов, В.Н. Мазуркевич

В издании приводится рабочая программа дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» для студентов заочной формы обучения специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и даются методические указания по изучению её разделов. Описывается содержание трех контрольных заданий с необходимыми методическими указаниями по их выполнению. Приведен справочный материал, облегчающий выполнение контрольных задач.

В в е д е н и е

Рабочая программа, методические указания и контрольные задания для студентов заочного отделения специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» составлены в соответствии с типовой программой ТД УМО Э18/Тип для высших учебных заведений, утвержденной 10 ноября 2003 года.

Целью изучения данной дисциплины является приобретение студентами профессиональных навыков в вопросах рационального распределения и использования потребляемой электроэнергии на промышленном предприятии. Студенты, изучая курс «Электроснабжение промышленных предприятий», знакомятся с методами расчета электрических нагрузок на промышленном предприятии, устройством и выбором электрических аппаратов напряжением до 1 кВ и выше, схемами и конструктивным исполнением системы электроснабжения предприятия, осваивают основные вопросы проектирования и эксплуатации систем электроснабжения: определение числа и мощности трансформаторов, компенсации реактивной мощности, релейной защиты, учета и контроля электропотребления и др. Изучение данной дисциплины является важным звеном в подготовке инженеров – промышленных теплоэнергетиков.

Системы электроснабжения промышленных предприятий, представляющие собой совокупность электроустановок, предназначены обеспечить электроэнергией промышленных потребителей. Они оказывают значительное влияние на производственный процесс. Надежное и экономичное снабжение потребителей электроэнергией требуемого качества – необходимое условие нормального функционирования любого промышленного предприятия. Специалисты в области промышленной теплоэнергетики, хорошо зная теплотехническую часть промышленного предприятия, должны для расширения своего кругозора и приобретения навыков в вопросах энерго-

снабжения достаточно глубоко изучить вопросы проектирования и эксплуатации систем электроснабжения.

Рабочая программа дисциплины состоит из введения и 8 разделов. По каждому из них необходимо изучить рекомендуемую литературу. С целью закрепления теоретических знаний выполняются одна контрольная работа, содержащая три задания, и лабораторные работы. Изучение курса заканчивается экзаменом.

С П И С О К И С П О Л Ь З О В А Н Н Ы Х И С Т О Ч Н И К О В

Основные источники

1. Князевский, Б.А., Липкин, Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Высшая школа, 1986. – 400 с.
2. Федоров, А.А., Ристхейн, Э.М. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1981. – 360 с.
3. Ристхейн, Э.М. Электроснабжение промышленных установок. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 424 с.
4. Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.

Дополнительные источники

5. Липкин, Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Высшая школа, 1990. – 366 с.
6. Коновалова, Л.Л., Рожкова, Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
7. Радкевич, В.Н. Проектирование систем электроснабжения. – Мн.: НПООО “Пион”, 2001. – 292 с.
8. Королев, О.П., Радкевич, В.Н., Сацукевич, В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий: учебно-методическое пособие. – Мн.: БГПА, 1998. – 140 с.

9. Кудрин, Б.И., Прокопчик, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий. – Мн.: Высшая школа, 1988. – 357 с.

10. Вольдек, А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.

11. Чиликин, М.Г., Сандлер, А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАЗДЕЛАМ

Введение

Цели и задачи дисциплины. Исторический обзор развития электроэнергетики. Понятия об электрических станциях, энергетических и электрических системах, приемниках и потребителях электроэнергии. Род тока, напряжение, частота тока. Электрические схемы и условные обозначения в них.

Литература: [1, с. 6 – 9; 2, с. 6 – 10; 3, с. 5 – 10; 5, с. 6 – 26; 6, с. 9 – 32; 9, с. 5 – 14].

Методические указания

Во введении следует изучить цели и задачи курса, историю электроэнергетики в Республике Беларусь и перспективы её развития, усвоить основные понятия, определения и термины, характеризующие энергосистемы и системы электроснабжения. Изучить условные обозначения, применяемые в схемах электроснабжения. Необходимо ознакомиться с понятиями рода тока, величины напряжений и частоты питающего напряжения, применяемых в схемах электроснабжения промышленных предприятий.

Вопросы для самопроверки

1. Какие крупные электростанции и какой мощностью работают в энергосистеме Республики Беларусь?
2. Какое количество электроэнергии выработано в Республике Беларусь в прошедшем году?
3. Что называется энергетической системой, электрической системой и системой электроснабжения?
4. Электростанции какого типа получили наибольшее распространение в энергосистеме Республики Беларусь?

1. Приемники электрической энергии

Классификация и характеристика потребителей электроэнергии. Режимы работы электроприемников. Категории электроприемников по степени надежности питания. Графики электрических нагрузок. Коэффициенты, характеризующие режимы работы электроприемников: использования, загрузки, максимума и спроса. Методы определения электрических нагрузок. Определение расхода электроэнергии.

Литература: [1, с. 10 – 34; 2, с. 10 – 42; 3, с. 38 – 49, 56 – 74; 7, с. 243 – 247; 8, с. 15 – 24].

Методические указания

Потребители электроэнергии необходимо систематизировать по режимам работы, мощности, напряжению, роду тока и требуемой степени надежности электроснабжения. Особое место при изучении данного раздела занимают графики нагрузок и коэффициенты, которые их характеризуют. При определении электрических нагрузок необходимо усвоить такие понятия, как номинальная (установленная) мощность, средняя мощность нагрузки, средняя активная и реактивная нагрузки за наиболее загруженную смену, расчетная нагрузка, коэффициенты расчетной нагрузки, использования, максимума, спроса и др.

Основным методом расчета электрических нагрузок является метод расчетных коэффициентов, который учитывает значения постоянной времени нагрева T_0 различных элементов сети и который необходимо изучить более подробно [7, 8]. Метод упорядоченных диаграмм дает погрешность при определении расчетных нагрузок, т. к. не учитывает постоянные времена нагрева. Приблизительно оценить расчетные нагрузки предприятий можно с помощью методов коэффициента спроса и удельных норм расхода электроэнергии на единицу продукции. Необходимо уметь определять годовой расход электроэнергии силовыми и осветительными приемниками.

Вопросы для самопроверки

1. Как выглядят графики нагрузок различных типов?
2. Какие коэффициенты характеризуют графики электрических нагрузок?
3. Какие методы определения расчетных электрических нагрузок вы знаете?
4. Как определяется годовой расход электроэнергии?

2. Электрические аппараты управления и защиты

Электрические аппараты напряжением до 1 кВ. Рубильники, пакетные выключатели, автоматические воздушные выключатели, предохранители, магнитные пускатели, контакторы. Назначение, устройство и принцип работы. Выбор электрических аппаратов.

Электрические аппараты напряжением выше 1 кВ. Масляные выключатели, вакуумные выключатели, выключатели нагрузки, разъединители, отделители, короткозамыкатели, трансформаторы тока и напряжения. Назначение, устройство и принцип работы. Выбор электрических аппаратов.

Литература: [1, с. 192 - 200, 248 - 350; 2, с. 329 - 335; 5, с. 70 - 76, 179 - 214; 6, с. 136 - 155, 239 - 276; 8, с. 8 - 11].

Методические указания

В данном разделе необходимо изучить назначение, принцип действия и устройство низковольтных и высоковольтных электрических аппаратов. Особое внимание необходимо уделить вакуумным и маломасляным выключателям высокого напряжения, магнитным пускателям, автоматическим воздушным выключателям и предохранителям низкого напряжения. Необходимо изучить схемы включения измерительных трансформаторов тока и напряжения.

Вопросы для самопроверки

1. Каково назначение следующих низковольтных аппаратов: контакторов, магнитных пускателей, автоматических воздушных выключателей и предохранителей?

2. Охарактеризуйте назначение следующих высоковольтных аппаратов: выключателей, разъединителей, короткозамыкателей, отделителей.

3. Какими параметрами характеризуются измерительные трансформаторы тока и напряжения?

3. Подстанции промышленных предприятий и распределительные пункты

Главные понизительные подстанции (ГПП), распределительные пункты (РП) и трансформаторные подстанции (ТП). Назначение, конструктивное выполнение. Построение картограммы нагрузок. Определение условного центра электрических нагрузок. Выбор места расположения РП и ТП. Выбор

числа и мощности трансформаторов цеховых ТП. Допустимые перегрузки трансформаторов. Схемы электрических соединений ГПП, РП, ТП.

Литература: [1, с. 252 – 293; 2, с. 320 – 329; 3, с. 382 – 390; 7, с. 212 – 220].

Методические указания

Большинство потребителей электрической энергии получает её от энергосистем. В некоторых случаях промышленные предприятия могут иметь и свои электростанции. Выбор схемы электроснабжения предприятия осуществляется после определения электрической нагрузки предприятия и категории надежности его электроснабжения. Места расположения ГПП, РП и ТП определяются с помощью картограммы нагрузок, при этом ГПП и цеховые ТП следует располагать как можно ближе к центру электрических нагрузок. РП размещают на границе питаемых ими участков сети со стороны ввода таким образом, чтобы не было обратных потоков энергии. РП стремятся располагать в цехах с высоковольтными электроприемниками или в энергоемких цехах.

Выбор числа и мощности трансформаторов осуществляется в зависимости от величины электрической нагрузки с учетом категории потребителей по надежности электроснабжения, а также перегрузочной способности трансформаторов. Необходимо стремиться к однотипности трансформаторов на предприятии и к применению комплектных трансформаторных подстанций.

Вопросы для самопроверки

1. Зачем необходимо определять условный центр электрических нагрузок?
2. Поясните принципиальное различие между ГПП и РП.
3. Как определяется место расположения РП и цеховых ТП?

4. Какие рекомендуемые коэффициенты загрузки трансформаторов для одно- и двухтрансформаторных ТП?

5. Какие типы трансформаторов применяются на цеховых ТП?

6. Поясните схему РП с одной секцией шин и с двумя секциями шин.

4. Распределение электрической энергии на напряжении выше 1 кВ и расчет токов короткого замыкания

Режимы работы электрических сетей. Сеть с изолированной нейтралью, с глухозаземленной и компенсированной нейтралью. Схемы электроснабжения при напряжении 6-10 кВ. Радиальная и магистральная схемы питания, схема двойных сквозных магистралей. Расчет токов короткого замыкания в относительных единицах. Определение сопротивления отдельных элементов сети. Базисная мощность, ток и напряжение. Определение результирующего и расчетного сопротивлений. Определение токов короткого замыкания по расчетным кривым и от системы неограниченной мощности. Краткие сведения по расчету электрических сетей. Выбор высоковольтных кабелей.

Литература: [1, с. 224 – 245, 376 – 380; 2, с. 216 – 222, 225 – 250; 5, с. 224 – 239, 242 – 247; 7, с. 220 – 223; 8, с. 63 – 71].

Методические указания

В этом разделе необходимо изучить режимы работы электрических сетей, уделив особое внимание сетям с изолированной нейтралью напряжением 10 кВ, а также характерные схемы внутреннего электроснабжения. Усвоить основные марки проводов и кабелей, применяемых в схемах электроснабжения предприятия.

Следует разобраться в необходимости расчета токов короткого замыкания и способах его расчета. Ознакомиться с методом относительных величин, понятиями базисной мощности, базисного напряжения и тока. Изучить методику приведения сопротивления отдельных элементов схемы к базисным условиям. Научиться определять результирующее сопротивление схемы замещения и расчетное сопротивление. Овладеть навыками расчета токов короткого замыкания по расчетным кривым и от системы неограниченной мощности.

Необходимо усвоить основные понятия об электрическом расчете сетей, научиться выбирать кабели напряжением 6-10 кВ по экономической плотности тока, допустимому нагреву максимальным расчетным током и термической стойкости при коротких замыканиях.

Вопросы для самопроверки

1. Как работает защита в сетях с изолированной и глухозаземленной нейтралью при повреждении изоляции одной из фаз?
2. Назовите достоинства и недостатки радиальной и магистральной схем электроснабжения.
3. Начертите схему двойной сквозной магистрали.
4. Что такое результирующее и расчетное сопротивление схемы замещения?
5. Как рассчитывается ток короткого замыкания по расчетным кривым?
6. Как рассчитывается ток короткого замыкания при наличии системы неограниченной мощности?
7. По каким условиям и как производится выбор сечения жил кабеля напряжением 6-10 кВ?

5. Распределение электрической энергии на напряжении до 1 кВ

Режимы нейтрали электроустановок до 1 кВ. Системы TN-S, TN-C, TN-C-S, IT. Схемы сетей низкого напряжения. Низковольтные распределительные устройства. Конструктивное выполнение сетей низкого напряжения. Силовые распределительные шкафы, шинопроводы. Выбор сечения проводов и кабелей.

Литература: [1, с. 182 – 192, 201 – 206; 2, с. 216 – 222; 3, с. 183 – 184, 193 – 201; 7, с. 139 – 143, 186 – 195].

Методические указания

Трехфазные сети электроустановок до 1 кВ могут быть с глухозаземленной или изолированной нейтралью генераторов и трансформаторов. Электрические сети промышленных объектов выполняются, как правило, с глухозаземленной нейтралью. Сети с изолированной нейтралью, в которых используется система заземления типа IT, составляют примерно 30 % всех сетей напряжением до 1 кВ. Они применяются при повышенных требованиях к электробезопасности и надежности электроснабжения: в шахтах и подземных сооружениях, передвижных установках, а также на торфяных разработках, предприятиях химической, текстильной, нефте- и газоперерабатывающей промышленности [3, 7].

В четырехпроводных сетях трехфазного тока глухое заземление нейтрали является обязательным. При глухом заземлении нейтрали используются системы TN-S, TN-C, TN-C-S. Следует изучить все системы нейтрали электроустановок до 1 кВ и знать, как выбирается сечение нулевого провода.

Необходимо изучить устройство силовых распределительных шкафов, шинопроводов и схемы их подключения, освоить методику определения сечения проводов и кабелей.

Вопросы для самопроверки

1. Где применяется система заземления типа IT?
2. Какие системы с глухим заземлением нейтрали предписано применять действующими нормативно-техническими документами?
3. Как определяется сечение питающих проводов и кабелей?
4. Как определяется сечение нулевого провода?

6. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения

Требования, предъявляемые к релейной защите. Оперативный ток в системах защиты. Реле тока, напряжения, времени. Максимальная токовая защита. Максимальная токовая отсечка. Газовая защита. Автоматика в системах электроснабжения. Автоматическое повторное включение (АПВ). Автоматическое включение резерва (АВР). Контроль состояния изоляции на подстанциях. Защита в сетях напряжением до 1 кВ предохранителями и автоматическими выключателями.

Литература: [1, с. 294 – 338; 2, с. 250 – 281; 3, с. 359 – 366; 5, с. 265 – 307; 6, с. 438 – 475].

Методические указания

При изучении данного раздела важно разобраться, какие требования предъявляются к релейной защите, и понять основные принципы построения релейной защиты в сетях напряжением выше 1 кВ, изучить схемы защит, указанные в программе. Необходимо знать, какой оперативный ток может применяться для питания цепей релейной защиты, какие реле используются в схемах защит.

В установках напряжением до 1 кВ отключение токов короткого замыкания производится с помощью предохраните-

лей и автоматических выключателей. Необходимо разобраться, как обеспечивается селективность защиты при использовании предохранителей и автоматических выключателей.

Вопросы для самопроверки

1. Для чего применяется релейная защита и какие требования к ней предъявляются?
2. Какой оперативный ток и какие реле применяются в схемах релейной защиты?
3. Поясните принцип действия и схему максимальной токовой защиты.
4. Поясните принцип действия и схему максимальной токовой отсечки. В чем её отличие от максимальной токовой защиты?
5. Как осуществляется защита сетей и электроустановок напряжением до 1 кВ?
6. Как осуществляется выбор предохранителей и автоматических выключателей?

7. Автоматизированный электропривод и электрические двигатели

Электрические двигатели постоянного и переменного тока. Область применения, достоинства и недостатки. Выбор мощности электродвигателей.

Метод средних потерь. Метод эквивалентных величин.

Литература: [10, с. 27 – 33, 198 – 221, 475 – 500; 11, с. 48 – 89, 325 – 386].

Методические указания

Необходимо знать устройство и принцип работы электродвигателей постоянного и переменного тока, их достоинства и недостатки, область применения двигателей постоянного и пере-

менного тока. Изучить методику выбора мощности электродвигателей при постоянном графике нагрузки для насосов и вентиляторов. Ознакомиться с методами выбора мощности электродвигателей при переменных графиках нагрузки (метод средних потерь, метод эквивалентного тока, момента и мощности).

Вопросы для самопроверки

1. Поясните устройство и принцип работы двигателя постоянного тока параллельного возбуждения. Его область применения.

2. Поясните устройство и принцип работы двигателя постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения. Их область применения.

3. Поясните устройство и принцип работы асинхронного двигателя переменного тока, асинхронного двигателя переменного тока с фазным ротором и синхронного электродвигателя. Их область применения.

4. Недостаток метода средних потерь.

5. Когда можно применять метод эквивалентного тока, эквивалентного момента и эквивалентной мощности?

8. Компенсация реактивной мощности.

Учет и экономия электроэнергии

Потребители реактивной мощности. Снижение потерь мощности и напряжения в системе электроснабжения при компенсации реактивной мощности. Источники реактивной мощности: синхронные генераторы, двигатели и компенсаторы, статические источники реактивной мощности. Определение мощности батарей конденсаторов. Схемы включения конденсаторных установок.

Расчетный и технический учет электроэнергии. Приборы и системы учета электропотребления. Расчет потерь мощности

и электроэнергии в элементах систем электроснабжения. Снижение потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения.

Литература: [1, с. 86 – 100; 2, с. 132 – 157, 350 – 356; 7, с. 45 – 56, 115 – 135, 247 – 257; 8, с. 45 – 54, 83 – 86; 9, с. 282 – 297].

Методические указания

Компенсация реактивной мощности уменьшает потери мощности, энергии и напряжения в элементах системы электроснабжения, а также повышает пропускную способность линий и трансформаторов. Необходимо ознакомиться с методикой определения мощности батарей конденсаторов, устанавливаемых в сети до 1 кВ. Компенсирующие устройства выбираются с учетом их экономических и технических характеристик, условий установки и т. д. Студент должен изучить схемы включения конденсаторных установок.

Расчетный и технический учет электроэнергии осуществляется с помощью электросчетчиков. Если предприятие рассчитывается с электроснабжающей организацией по двухставочному тарифу, то следует предусматривать установку счетчика с указателем максимума нагрузки (при наличии одного пункта учета) или применение автоматизированной системы учета электроэнергии (при двух и более пунктах учета).

Правильное определение потерь мощности и энергии в элементах системы электроснабжения и умение находить рациональные способы их снижения являются необходимым условием оптимальной эксплуатации электрических сетей. Следует знать, что такое среднеквадратичный и максимальный токи и как они определяются, что такое время максимальных потерь. Потери энергии за любой период времени рассчитываются по среднеквадратичному току и времени действительной работы, а годовые потери – по максимальному току и времени максимальных потерь.

Снижение потерь мощности и энергии может быть достигнуто за счет повышения напряжения и уменьшения сопротивления линий, правильного выбора числа и мощности трансформаторов, режима их работы, компенсации реактивной мощности и т. д.

Вопросы для самопроверки

1. Поясните способы снижения реактивных нагрузок потребителей.
2. Почему батареи конденсаторов в сетях трехфазного переменного тока соединяются по схеме треугольника?
3. Как определяется мощность батарей конденсаторов, устанавливаемых в сети до 1 кВ?
4. Какие приборы устанавливаются в распределительном щите цеховой ТП?
5. Для чего осуществляется расчетный и технический учет электроэнергии?
6. Какие параметры измеряются для расчетов за электроэнергию по двухставочному тарифу?
7. Что такое среднеквадратичный ток и как он определяется?
8. Что такое время максимальных потерь?
9. Как определяются потери мощности в линиях и трансформаторах?
10. Почему при повышении напряжения в электрических сетях происходит снижение потерь мощности и энергии?

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Каждый студент должен выполнить контрольную работу, состоящую из трёх контрольных заданий, содержание которых приведено ниже. Контрольная работа оформляется в школьной тетради или на листах формата А4 с приложением необходимых рисунков и схем, которые могут выполняться на

миллиметровой бумаге или с помощью компьютерной графики. Текст контрольных заданий переписывать не требуется, достаточно указать свой порядковый номер в списке учебной группы и номер выполняемого варианта. В первом задании вариант определяется последней цифрой порядкового номера в списке группы, во втором и третьем заданиях – порядковым номером в списке группы. В приложении приведены справочные материалы, позволяющие упростить поиск необходимых данных для решения поставленных задач.

З а д а н и е 1

На плане участка механического цеха (рис. 1 – 5) (номер плана выбирается по табл. 1) представлены станки, в которых установлены асинхронные двигатели (АД). Наименование станков, количество двигателей в них и их мощность выбираются по табл. 2. Режим работы АД исключает возможность длительных перегрузок, условия пуска – легкие. Средние значения коэффициентов использования $K_{и}$ и мощности $\cos\phi$ для различных приемников электроэнергии приведены в табл. 2. В станках для управления АД используются магнитные пускатели (МП), для защиты АД – автоматические выключатели серии ВА. Питание АД станков осуществляется проводами АПВ, проложенными в винипластовых трубах от шкафов распределительных серии ШР11 или шинопроводов типа ШРА 4, которые в свою очередь запитаны от низковольтного распределительного устройства 0,4/0,23 кВ (панели ЩО70М) по кабельным линиям.

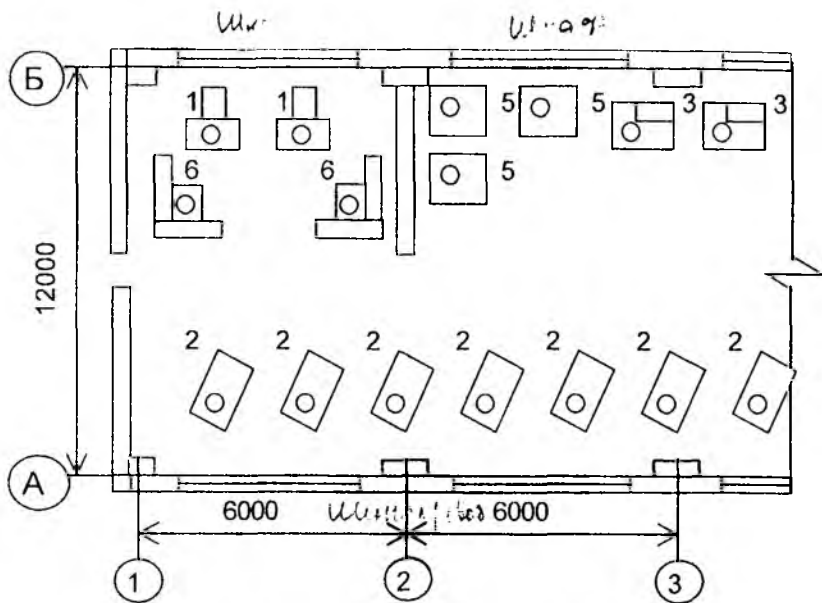


Рис. 1. План участка цеха № 1

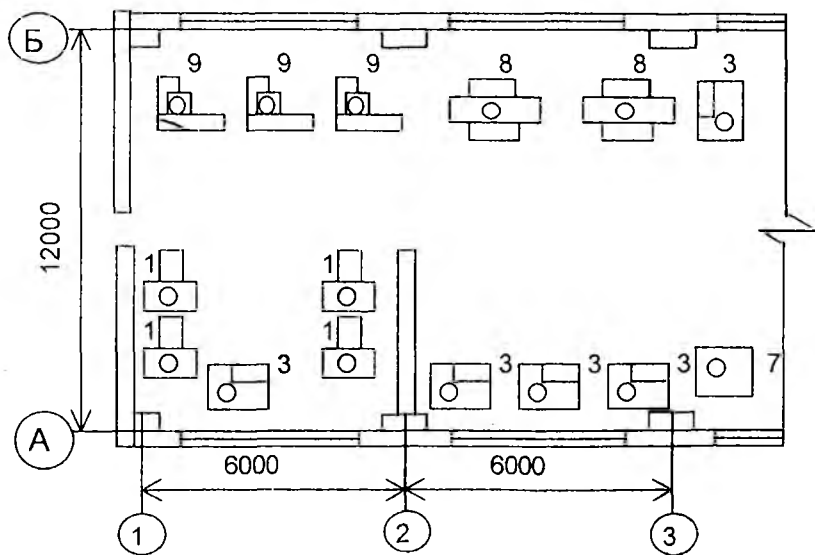


Рис. 2. План участка цеха № 2

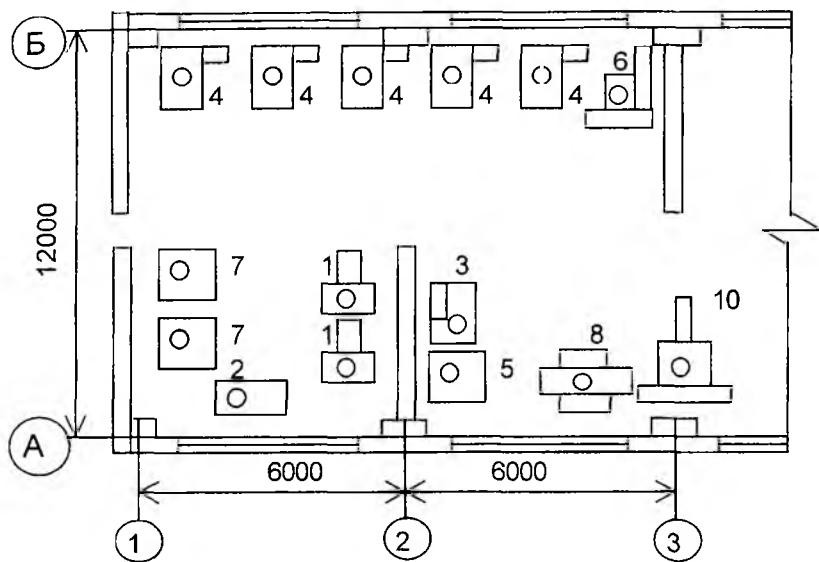


Рис. 3. План участка цеха № 3

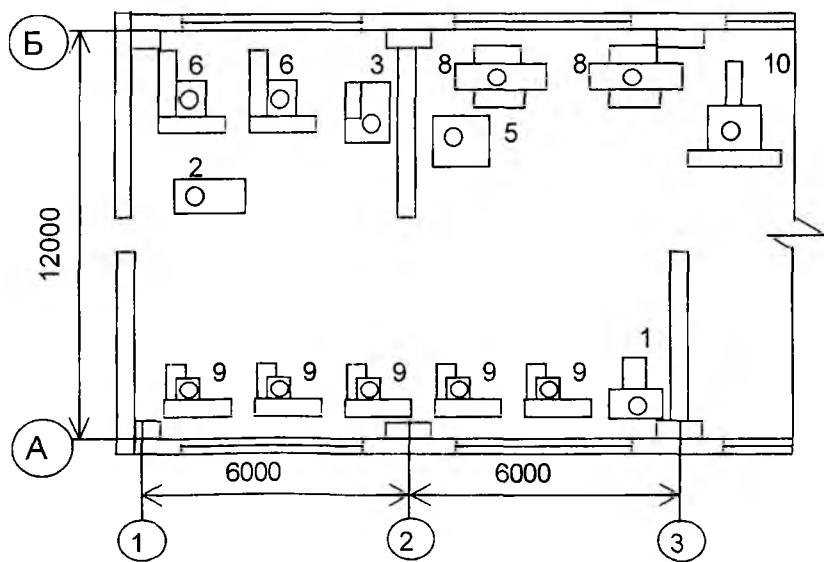


Рис. 4. План участка цеха № 4

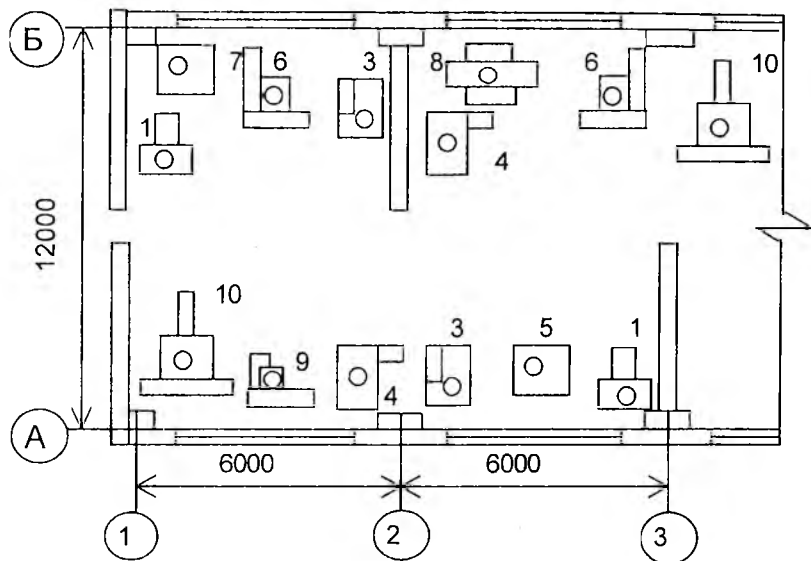


Рис. 5. План участка цеха № 5

Таблица 1

Номера планов участков цеха к заданию № 1

Последняя цифра номера списка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номер плана участка цеха	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Данные электроприемников участков цеха для задания № 1

Номер станка на плане	Наименование станка	Последняя цифра номера списка				Последняя цифра номера списка			
		1, 2, 3, 4, 5				6, 7, 8, 9, 0			
		Количество двигателей	Мощности двигателей, кВт	K_n	$\cos\varphi$	Количество двигателей	Мощности двигателей, кВт	K_n	$\cos\varphi$
1	Токарный	3	5,5; 1,5; 0,75	0,12	0,4	3	11,0; 4,0; 0,75	0,14	0,5
2	Фрезерный	3	7,5; 3,0; 0,55	0,14	0,5	2	11,0; 7,5; 1,1	0,12	0,4
3	Строгальный	3	11,0; 2,2; 1,1	0,15	0,55	3	7,5; 1,5; 0,75	0,16	0,6
4	Токарный полуавтомат	3	11,0; 3,0; 1,5	0,2	0,6	3	5,5; 2,2; 1,1	0,17	0,65
5	Заточной	1	5,5	0,16	0,55	1	3,0	0,12	0,5
6	Вертикально-сверлильный	2	7,5; 1,5	0,12	0,5	3	11,0; 3,0; 1,1	0,2	0,6
7	Вентилятор	1	3,0	0,7	0,75	1	5,5	0,8	0,8
8	Резьбонарезной	2	5,5; 1,1	0,16	0,6	3	7,5; 3,0; 0,55	0,17	0,65
9	Плоскошлифовальный	3	7,5; 1,5; 0,75	0,25	0,65	2	7,5; 1,5	0,35	0,65
10	Горизонтально-сверлильный	3	11,0; 4,0; 0,75	0,17	0,65	3	5,5; 1,5; 0,75	0,25	0,65

Распределительная сеть прокладывается в помещении с нормальными условиями окружающей среды и температурой воздуха 20-25 °С.

Требуется выполнить следующее:

1. Выбрать способ питания станков (от шкафов ШР11 или шинопровода ШРА 4).
2. Выбрать магнитные пускатели и автоматические выключатели в станках.
3. Определить номинальные токи плавких вставок предохранителей в шкафах распределительных ШР11 и ответвительных коробках распределительного шинопровода ШРА 4.
4. Выбрать шкафы распределительные ШР11, распределительный шинопровод ШРА 4 и силовой ящик для его подключения.
5. Выбрать сечение проводов ответвлений к электродвигателям станков.
6. Определить расчетную нагрузку каждой группы электроприемников по коэффициенту расчетной нагрузки.
7. Определить номинальные токи шинопровода и коммутационного ящика.
8. Определить номинальные токи плавких вставок предохранителей в низковольтном распределительном устройстве.
9. Выбрать тип линейной панели ЩО70М.
10. Выбрать сечение жил кабелей питающих линий от ЩО70М.
11. Составить расчетную схему силовой сети, на которой указать тип панели ЩО70М, типы распределительных шкафов и шинопровода, их расчетные и пиковые токи, а также номинальные токи шинопровода, коммутационных и защитных аппаратов, плавких вставок предохранителей, марки и сечения проводов и кабелей.

Литература: [1, с. 200 – 210; 5, с. 70 – 80; 7, с. 156 – 163, 186 – 195; 8, с. 19 – 20, 24 – 26].

Методические указания

Выбор силового шкафа или шинопровода определяется расположением оборудования в помещении. При упорядоченном расположении станков в помещении можно применить шинопровод, при хаотичном расположении оборудования предпочтение отдается силовым шкафам. После того как вы определились с источниками питания для ваших станков, можно приступить к выбору пускозащитной аппаратуры.

По номинальной мощности двигателя P_n (табл. П1) выбираются типы двигателей, их технические параметры и вычисляются номинальные токи

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cos \varphi_n \cdot \eta_n},$$

где U_n – номинальное напряжение, кВ;

$\cos \varphi_n$ и η_n – номинальные значения коэффициента активной мощности и коэффициента полезного действия.

В качестве аппаратов управления для двигателей следует применять магнитные пускатели типа ПМЛ или ПМА (табл. П5), которые выбираются по напряжению, току нагрузки потребителя и исполнению. Для защиты электроприемников в станках предусмотрены автоматические выключатели с комбинированными расцепителями, которые выбираются из табл. П4 исходя из следующих условий:

$$I_{на} \geq I_n;$$

$$I_{нр} \geq I_n;$$

$$I_{эп} \geq 1,25k_{пуск} I_n,$$

где $I_{на}$, $I_{нр}$ – номинальные токи автоматического выключателя и его теплового расцепителя, А;

$I_{эр}$ – ток срабатывания электромагнитного расцепителя, А;

$k_{пуск}$ – коэффициент кратности пускового тока двигателя.

Для защиты ответвлений к станкам в шинопроводах типа ШРА 4 с номинальными токами 250, 400, 630 А применяются предохранители типа ПН2-100, а в силовых шкафах ШР11 – предохранители НПН2-63, ПН2-100, ПН2-250. Определение номинальных токов плавких вставок предохранителей производится по следующим условиям:

$$I_{пв} \geq I_{н}; \quad (1)$$

$$I_{пв} \geq k_{пуск} I_{н} / \alpha, \quad (2)$$

где $I_{пв}$ – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, А;

α – коэффициент кратковременной тепловой перегрузки, который при легких условиях пуска принимается равным 2,5, при тяжелых – 1,6...2,0.

Из условий (1) и (2) окончательно выбираем большее стандартное значение номинального тока плавкой вставки по табл. ПЗ. Определив номинальные токи плавких вставок, по табл. П14 подбираем типы силовых шкафов ШР11, по табл. П9 – тип шинопровода ШРА 4, по табл. П15 – тип силового ящика для подключения шинопровода. Необходимо учесть, что шинопровод ШРА 4 на номинальный ток 100 А имеет в ответвительных коробках защитные аппараты с номинальным током 25 А, что ограничивает его применение.

Сечения проводов или кабелей ответвлений от ШР11 и ШРА 4 к электродвигателям станков напряжением до 1 кВ по нагреву определяются по таблицам допустимых токов (табл. П7, П8), составленных для нормальных условий прокладки, в зависимости от расчетных значений длительно допустимых токовых нагрузок $I_{дл}$ из двух условий:

– по условиям нагрева длительным расчетным током I_p

$$I_{\text{дл}} \geq I_p / k_{\text{попр}} ;$$

– по условию соответствия выбранному аппарату максимальной токовой защиты

$$I_{\text{дл}} \geq k_3 I_3 / k_{\text{попр}} ,$$

где $k_{\text{попр}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки проводов и кабелей (при нормальных условиях $k_{\text{попр}} = 1$);

k_3 – кратность длительно допустимого тока (табл. Пб) для провода или кабеля по отношению к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата;

I_3 – номинальный ток или ток срабатывания защитного аппарата.

В качестве I_3 принимается:

– при защите предохранителями – номинальный ток плавкой вставки (k_3 при этом равняется 0,33);

– при защите автоматическим выключателем с комбинированным расцепителем – номинальный ток теплового расцепителя (k_3 при этом равняется 1,0).

Значения токов I_3 и соответствующие им коэффициенты для других случаев защиты можно найти в учебной и справочной литературе [1, 2, 5, 6, 7].

В цехах с нормальными условиями окружающей среды электрические сети выполняются алюминиевыми проводами АПВ, АПРВ и другими в винилпластовых трубах и кабелями с алюминиевыми жилами марки АВВГ, АВРГ и др. Необходимо отметить, что сегодня нормативно-технические документы требуют прокладки к станкам пяти проводных линий, причем два провода являются нулевыми (N – рабочий ноль; PE – защитный ноль). Сечения нулевых проводников из алюминия

принимаются равными фазным до 25 мм^2 , а при больших сечениях – равными половине сечения фазного провода.

Расчет электрических нагрузок группы электроприемников следует выполнять методом расчетных коэффициентов [7]. Согласно данному методу расчетная активная мощность группы трехфазных электроприемников (от двух и более единиц в группе) вычисляется по выражению

$$P_p = K_p \sum_{i=1}^n k_{ni} P_{ni},$$

где K_p – расчетный коэффициент, определяемый по табл. П2 в зависимости от группового коэффициента использования k_n и эффективного (приведенного) числа электроприемников $n_{\text{эф}}$.

Для группы, состоящей из n электроприемников, групповой коэффициент использования K_n равен

$$K_n = \frac{\sum_{i=1}^n k_{ni} P_{ni}}{\sum_{i=1}^n P_{ni}},$$

где P_{ni} – номинальная мощность i -го электроприемника;

k_{ni} – коэффициент использования для i -го электроприемника, который принимается по справочным данным [1, 5, 7, 8].

Эффективное число электроприемников определяется по выражению

$$n_{\text{эф}} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{ni})^2}{\sum_{i=1}^n P_{ni}^2}.$$

Полученное значение $n_{\text{эф}}$ округляется до ближайшего меньшего целого числа. Если $n_{\text{эф}}$ получится больше n действительного, то необходимо принять $n_{\text{эф}} = n$.

Если расчетная активная нагрузка P_p окажется меньше номинальной мощности наиболее мощного электроприемника группы $P_{\text{нmax}}$, следует принимать $P_p = P_{\text{нmax}}$.

Расчетная реактивная мощность для питающих линий напряжением до 1 кВ определяется в зависимости от величины $n_{\text{эф}}$:

$$Q_p = 1,1 \sum_{i=1}^n k_{\text{ни}} P_{\text{ни}} \text{tg}\varphi, \text{ если } n_{\text{эф}} \leq 10;$$

$$Q_p = \sum_{i=1}^n k_{\text{ни}} P_{\text{ни}} \text{tg}\varphi, \text{ если } n_{\text{эф}} > 10.$$

Полная расчетная нагрузка силовых электроприемников по распределительному пункту или шинопроводу определяется по выражению

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

Расчетный ток группы электроприемников

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}.$$

Максимальный кратковременный (пиковый) ток группы определяется по формуле

$$I_{\text{кр}} = I_p + (k_{\text{пуск}} - k_{\text{н}}) I_{\text{нmax}},$$

где $I_{н \max}$ – номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током;

$k_{\text{пуск}}$, $k_{и}$ – коэффициент кратности пускового тока и коэффициент использования для электроприемника с наибольшим пусковым током.

Выбор плавких вставок предохранителей, установленных в линейной панели ЩО70М, производится по выражениям (1) и (2), только вместо номинального $I_{н}$ и пускового $k_{\text{пуск}}I_{н}$ токов электродвигателя необходимо учитывать расчетный $I_{р}$ и максимальный кратковременный $I_{кр}$ ток группы с учетом селективности защиты. По условию селективности номинальные токи плавких вставок двух последовательно расположенных предохранителей по направлению потока энергии должны различаться не менее чем на две ступени стандартной шкалы номинальных токов плавких вставок. После определения номинальных токов плавких вставок и выбора предохранителей по табл. П16 необходимо выбрать линейную панель ЩО70М, в которой должны стоять эти предохранители.

З а д а н и е 2

Дана расчетная схема высоковольтной сети (выбирается по порядковому номеру в списке группы (рис. 6 или рис. 7)), в которой представлены турбогенераторы Г1 и Г2 или энергосистема S_c , через трансформаторы Т1 и Т2 связаны воздушными линиями L_1 , L_2 и L_3 на напряжении U_1 между собой и подстанцией системы, где установлен трансформатор Т3. От подстанции системы отходит кабельная линия L_4 напряжением U_2 . Точка короткого замыкания К1 расположена на высоком напряжении U_1 трансформатора Т3, а точки К2 и К3 – на напряжении U_2 в начале и конце кабельной линии L_4 .

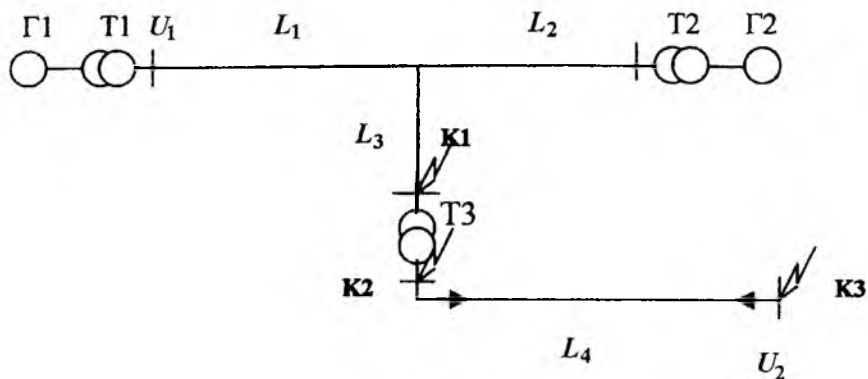


Рис. 6. Расчетная схема № 1 к заданию 2
(порядковые номера списка 1 – 10; 21 – 30)

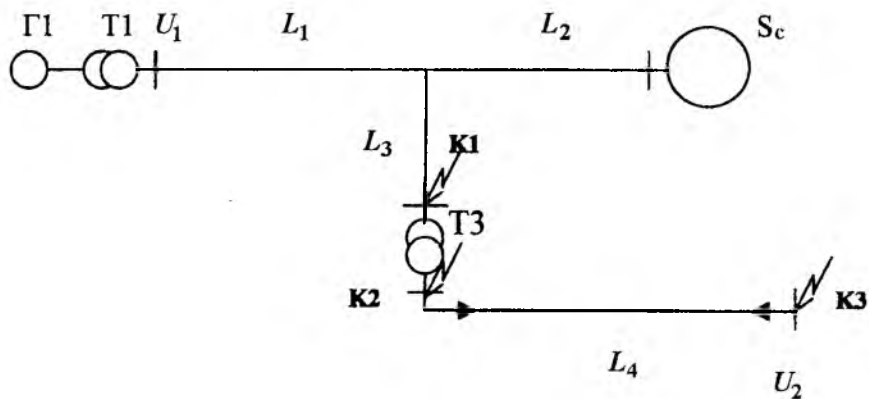


Рис. 7. Расчетная схема № 2 к заданию 2
(порядковые номера списка 11 – 20; 31 – 40)

Исходные данные для своего варианта выбрать в табл. 3 или табл. 4.

Таблица 3

Исходные данные к заданию № 2 (порядковые номера списка группы 1 – 10; 21 – 30)

№ списка группы	$\Gamma 1$, МВт	X_{d1} "	$\cos\varphi_1$	$\Gamma 2$, МВт	X_{d2} "	$\cos\varphi_2$	$T1$, МВ·А	$U_{к1}$, %	$T2$, МВ·А	$U_{к2}$, %	$T3$, МВ·А	$U_{к3}$, %	U_1 , кВ	U_2 , кВ	L_1 , км	L_2 , км	L_3 , км	L_4 , км
1, 21	60	0,13	0,8	300	0,195	0,85	80	10,5	400	10,5	25	10,5	115	6,3	110	80	30	2,0
2, 22	100	0,18	0,85	200	0,19	0,85	125	10,5	250	10,5	16	10,5	115	10,5	130	90	25	2,5
3, 23	200	0,19	0,85	60	0,13	0,8	250	10,5	80	10,5	40	10,5	115	6,3	150	60	70	1,5
4, 24	150	0,21	0,85	100	0,18	0,85	200	10,5	125	10,5	16	10,5	115	10,5	170	70	55	3,0
5, 25	300	0,195	0,85	150	0,21	0,85	400	10,5	200	10,5	25	10,5	115	6,3	190	50	45	3,5
6, 26	200	0,19	0,85	60	0,13	0,8	250	10,5	80	10,5	16	10,5	115	10,5	120	60	70	3,0
7, 27	150	0,21	0,85	300	0,195	0,85	200	10,5	400	10,5	40	10,5	115	6,3	140	70	55	1,5
8, 28	300	0,195	0,85	100	0,18	0,85	400	10,5	125	10,5	25	10,5	115	10,5	160	80	30	2,5
9, 29	60	0,13	0,8	150	0,21	0,85	80	10,5	200	10,5	40	10,5	115	6,3	180	90	25	2,0
10, 30	100	0,18	0,8	200	0,19	0,85	125	10,5	250	10,5	16	10,5	115	10,5	200	50	45	3,5

Исходные данные к заданию № 2 (порядковые номера списка группы 11 – 20; 31 – 40)

№ вариантов	P_1 , МВт	X_{dl}	$\cos\varphi_1$	T_1 , МВ·А	$U_{к1}$, %	$S_{ср}$, МВ·А	X_c	T_3 , МВ·А	$U_{к3}$, %	U_1 , кВ	U_2 , кВ	L_1 , км	L_2 , км	L_3 , км	L_4 , км
11, 31	100	0,18	0,8	125	10,5	1200	0,2	16	10,5	115	6,3	200	70	45	3,5
12, 32	150	0,21	0,85	200	10,5	∞	0	40	10,5	115	10,5	180	50	25	2,0
13, 33	200	0,19	0,85	250	10,5	1000	0,15	25	10,5	115	6,3	160	90	30	2,5
14, 34	60	0,13	0,8	80	10,5	∞	0	40	10,5	115	10,5	140	80	55	1,5
15, 35	300	0,195	0,85	400	10,5	800	0,12	16	10,5	115	6,3	120	70	70	3,0
16, 36	150	0,21	0,85	200	10,5	1500	0,3	25	10,5	115	10,5	190	60	45	3,5
17, 37	200	0,19	0,85	250	10,5	∞	0	16	10,5	115	6,3	170	80	55	3,0
18, 38	100	0,18	0,8	125	10,5	750	0,1	40	10,5	115	10,5	150	90	70	1,5
19, 39	300	0,195	0,85	400	10,5	∞	0	16	10,5	115	10,5	130	50	25	2,5
20, 40	60	0,13	0,8	80	10,5	∞	0	25	10,5	115	6,3	110	80	30	2,0

Требуется выполнить следующее:

1. Составить схему замещения для расчета токов короткого замыкания в точках К1, К2 и К3.
 2. Задаться базисными значениями напряжения и мощности.
 3. Привести сопротивления всех элементов схемы к выбранным базисным условиям.
 4. Преобразовать схему замещения и определить ударный, сверхпереходный и установившийся токи короткого замыкания.
- Литература: [1, с. 228 – 245; 5, с. 360 – 374; 8, с. 69 – 71].

Методические указания

Расчет токов короткого замыкания в высоковольтных сетях удобно проводить в относительных единицах. Необходимо составить схему замещения, где каждый элемент схемы, по которому протекает ток короткого замыкания, заменяется своим индуктивным сопротивлением. После этого надо задаться базисной мощностью S_6 (МВ·А) и базисным напряжением U_6 (кВ). За базисное напряжение берется напряжение той ступени, где расположена точка короткого замыкания (обычно это напряжение 115 кВ или 10,5 кВ). Базисная мощность выбирается произвольно (100 МВ·А, 200 МВ·А или любое другое значение мощности). Сопротивления отдельных элементов схемы замещения (системы конечной мощности, генераторов, трансформаторов, линий воздушных и кабельных) приводятся к базисным условиям по следующим формулам:

– для системы конечной мощности

$$X_{*c} = X_c \frac{S_6}{S_c};$$

– для генератора

$$X_{*г} = X_d'' \frac{S_6}{S_{нг}};$$

– для трансформатора

$$X_{*T} = \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{HT}};$$

– для линии

$$X_{*л} = X_0 L \frac{S_6}{U_{cp}^2},$$

где S_c – мощность системы, МВ·А;

X_c – относительное сопротивление системы;

X_d'' – сверхпереходное сопротивление генератора в относительных единицах;

$U_k \%$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

S_{HT} – номинальная мощность генератора, МВ·А ;

S_{HT} – номинальная мощность трансформатора, МВ·А;

X_0 – удельное сопротивление линии, Ом/км (для воздушных линий $X_0 = 0,4$ Ом/км; для кабельных линий – $0,08$ Ом/км);

L – длина линии, км;

U_{cp} – среднее напряжение ступени, где включена данная линия, кВ.

После того как сопротивления всех элементов схемы будут приведены к базисным условиям, необходимо преобразовать схему замещения к виду, когда с одной стороны результирующего сопротивления будут находиться все генерирующие источники, с другой стороны – точка короткого замыкания. Порядок преобразования схемы и возможность объединения нескольких источников в одну точку изложены в [1-3, 5, 6].
Определив результирующее сопротивление $X_{рез}$, необходимо найти расчетное сопротивление $X_{расч}$ по формуле

$$X_{расч} = X_{рез} \frac{S_{\Sigma H}}{S_6},$$

где $S_{\Sigma H}$ – суммарная номинальная мощность всех генерирующих источников, МВ·А.

После этого, зная $X_{\text{расч}}$, по расчетным кривым (рис. П1) находят относительные значения сверхпереходного тока короткого замыкания I''_* (для времени $t = 0$) и установившегося тока короткого замыкания $I_{*\infty}$ (для времени $t = \infty$). Действительные токи короткого замыкания определяются по выражениям

$$I'' = I''_* I_{\Sigma H};$$

$$I_{\infty} = I_{*\infty} I_{\Sigma H},$$

где $I_{\Sigma H} = \frac{S_{\Sigma H}}{\sqrt{3} \cdot U_6}$ – суммарный номинальный ток всех генерирующих источников при базисном напряжении U_6 , кА.

Ударный ток короткого замыкания

$$I_{\text{уд}} = 2,55 I'' ,$$

а мощность короткого замыкания

$$S_{\text{к}} = \sqrt{3} \cdot I'' U_6 .$$

З а д а н и е 3

Задание заключается в выборе высоковольтного кабеля для заданной схемы питания (выбирается по порядковому номеру в списке группы, студенты, имеющие нечетные порядковые номера в списке группы, выбирают схему на рис. 8 (задание 3.1), а студенты, имеющие четные порядковые номера в списке группы, – схему на рис. 9 (задание 3.2)).

Задание 3.1

На рис. 8 показана схема питания заводского РП, имеющего расчетную нагрузку S_p , от подстанции энергосистемы по двум кабельным линиям 10 кВ. Кабели проложены в траншее с температурой земли $+15\text{ }^\circ\text{C}$, расстояние между кабелями в свету – a . Установившийся ток короткого замыкания в начале линии – I_∞ , время отключения защиты – $t_{\text{отк}}$, время использования максимальной нагрузки – T_M .

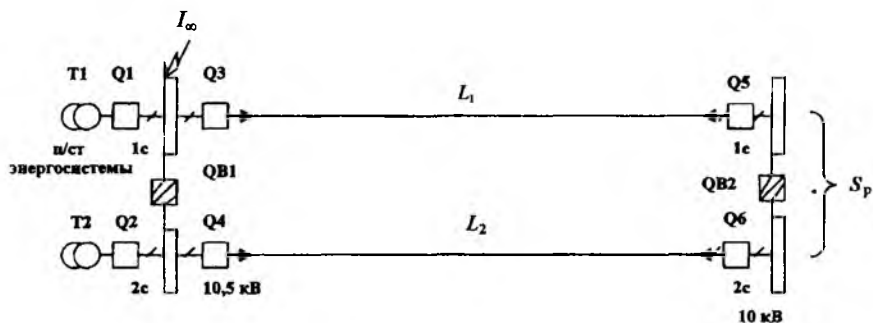


Рис. 8. Расчетная схема № 1 к заданию 3.1
(нечетные порядковые номера списка 1, 3, 5 и т. д.)

Исходные данные для схемы на рис. 8 приведены в табл. 5.

Таблица 5

Исходные данные к заданию № 3
(нечетные порядковые номера списка 1, 3, 5 и т. д.)

№ вари- антов	S_{p3} , МВ·А	I_∞ , кА	T_M , час	$t_{\text{отк}}$, с	a , мм
1	2	3	4	5	6
1, 21	7	9,5	3500	1,6	100
3, 23	8	10,0	4000	1,4	200
5, 25	9	8,0	4500	1,3	300

1	2	3	4	5	6
7, 27	10	8,5	5000	1,2	100
9, 29	11	7,0	5500	1,5	200
11, 31	12	6,0	5000	1,3	300
13, 33	10	6,5	4500	1,4	100
15, 35	11	7,5	4000	1,2	200
17, 37	9	11,0	3500	1,6	300
19, 39	8	9,0	4200	1,5	200

Требуется выполнить:

1. Определить расчетный ток каждой линии L_1 и L_2 .
2. Выбрать сечение жил кабеля по экономической плотности тока.
3. Выбрать сечение жил кабеля по максимальной расчетной нагрузке с учетом количества кабелей в траншее.
4. Выбрать сечение жил кабеля по нагреву током короткого замыкания (по термической стойкости).

5. Произвести окончательный выбор сечения жил кабелей.

Литература: [2, с. 248 – 250; 7, с. 40 – 45; 8, с. 63 – 69; 9, с. 194 – 200].

Методические указания к заданию 3.1

Расчетный ток линии, питающей завод, может быть найден по выражению

$$I_p = \frac{S_{pz}}{2\sqrt{3} \cdot U_n},$$

где S_{pz} – расчетная нагрузка завода, МВ·А;

U_n – номинальное напряжение сети, кВ ($U_n = 10$ кВ).

Расчетная нагрузка завода делится на два, т. к. на каждую кабельную линию в нормальном режиме работы приходится половина расчетной нагрузки.

Сечение жил кабеля по экономической плотности тока

$$q_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{Р}}}{j_{\text{ЭК}}}, \quad (3)$$

где $j_{\text{ЭК}}$ – экономическая плотность тока, принимаемая по табл. П10 в зависимости от числа часов максимума нагрузки $T_{\text{м}}$, вида изоляции и материала проводника жил.

Полученное значение $q_{\text{ЭК}}$ округляется до ближайшего стандартного. Рекомендуется выбирать кабели марок ААБ, ААШВУ и т. д.

Сечение кабеля по нагреву в послеаварийном режиме при отключении одной из линий определяется исходя из длительного тока $I_{\text{дла}}$, который протекает по кабелю:

$$I_{\text{дла}} = \frac{S_{\text{РЗ}}}{1,3\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}},$$

где 1,3 – коэффициент, учитывающий допустимую перегрузку кабеля на 30 %.

По табл. П11 выбираем ближайшее сечение кабеля, у которого длительный ток $I_{\text{дл}}$ будет больше тока в послеаварийном режиме $I_{\text{дла}}$. Если кабеля такого сечения не окажется, то необходимо выбрать два кабеля меньшего сечения, но при этом необходимо учесть поправочный коэффициент K_1 при двух кабелях в одной траншее (берется из табл. П12 в зависимости от расстояния между кабелями), т. е.

$$2I_{\text{дл}} K_1 \geq I_{\text{дла}}.$$

Выбор сечения жил кабеля по термической стойкости при коротком замыкании осуществляется по формуле

$$q_{\text{Т}} = \frac{I_{\infty} \sqrt{t_{\text{Ф}}}}{C}, \quad (4)$$

где I_{∞} – установившийся ток короткого замыкания в начале линии, на шинах ГПП, А;

t_{ϕ} – фиктивное время короткого замыкания, с ($t_{\phi} = 1,6$ с);

C – расчетный коэффициент, принимаемый для кабелей с алюминиевыми жилами равным 100 [9].

Найденное по термической стойкости сечение жил кабеля округляется до ближайшего большего стандартного сечения.

Из трех полученных значений сечения кабеля окончательно принимается большее.

З а д а н и е 3.2

На рис. 9 показана схема питания однотрансформаторных подстанций ТП1, ТП2 и ТП3 от шин РУ напряжением 10 кВ по магистральной схеме. Кабели проложены в земле при температуре $+15^{\circ}\text{C}$. На подстанциях установлены трансформаторы с номинальной мощностью $S_{н1}$, $S_{н2}$, $S_{н3}$, расчетные нагрузки которых на напряжении 0,4/0,23 кВ соответственно равны $S_{р1}$, $S_{р2}$, $S_{р3}$. Трансформаторы, номинальная мощность которых не задана, в расчетах не учитываются и на чертеже не изображаются. Установившийся ток короткого замыкания в начале линии – I_{∞} , время отключения защиты – $t_{отк}$, время использования максимальной нагрузки – $T_{м}$.

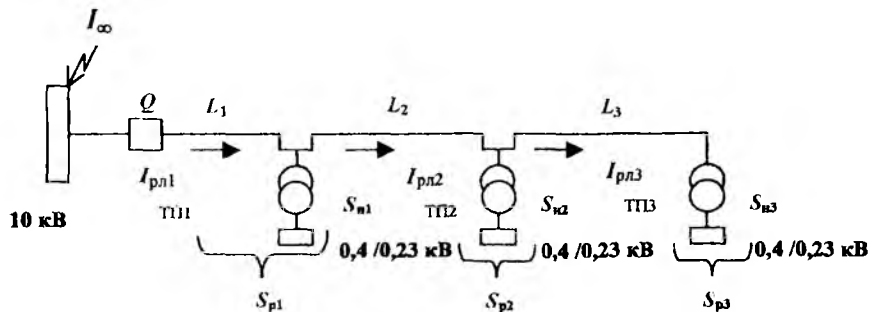


Рис. 9. Расчетная схема № 2 к заданию 3.2
(четные порядковые номера списка 2, 4, 6 и т. д.)

Исходные данные для схемы на рис. 9 приведены в табл. 6.

Исходные данные к заданию № 3 (четные порядковые номера списка 2, 4, 6 и т. д.)

№ вариантов	$I_{\text{о}},$ кА	$t_{\text{отк}},$ с	$S_{\text{н1}},$ кВ·А	$U_{\text{к1}},$ %	$S_{\text{р1}},$ кВ·А	$\cos\varphi_1$	$T_{\text{м}},$ час	$S_{\text{н2}},$ кВ·А	$U_{\text{к2}},$ %	$S_{\text{р2}},$ кВ·А	$\cos\varphi_2$	$S_{\text{н3}},$ кВ·А	$U_{\text{к3}},$ %	$S_{\text{р3}},$ кВ·А	$\cos\varphi_3$
2, 22	10,5	0,4	1000	5,5	700	0,85	4200	1000	5,5	650	0,75	630	5,5	450	0,8
4, 24	9,0	0,5	630	5,5	450	0,8	3500	630	5,5	500	0,8	630	5,5	550	0,85
6, 26	7,0	0,65	1000	5,5	800	0,75	4000	630	5,5	450	0,85	---	---	---	---
8, 28	5,0	0,45	630	5,5	500	0,85	4500	1000	5,5	800	0,85	630	5,5	500	0,7
10, 30	4,5	0,65	---	---	---	---	3500	1000	---	750	0,8	1000	5,5	700	0,75
12, 32	8,0	0,7	630	5,5	400	0,75	4000	1600	6,0	1200	0,83	---	6,0	---	---
14, 34	6,0	0,55	630	5,5	500	0,8	5000	---	---	---	---	1000	5,5	800	0,85
16, 36	10,5	0,5	1000	5,5	750	0,8	5500	630	5,5	450	0,8	630	5,5	500	0,7
18, 38	8,5	0,4	---	---	---	---	4000	630	5,5	500	0,85	1600	6,0	1100	0,7
20, 40	6,5	0,6	---	---	---	---	5000	1000	5,5	700	0,85	1000	5,5	800	0,75

Требуется выполнить:

1. По табл. П13 выбрать типы трансформаторов на подстанциях и определить потери холостого хода и короткого замыкания для них.

2. Вычислить потери активной и реактивной мощности в трансформаторах.

3. Определить расчетные нагрузки линий L_1 , L_2 и L_3 с учетом потерь в трансформаторах.

4. Выбрать сечение жил кабеля по экономической плотности тока.

5. Выбрать сечение жил кабеля по максимальной расчетной нагрузке с учетом количества кабелей в траншее.

6. Выбрать сечение жил кабеля по нагреву током короткого замыкания.

7. Произвести окончательный выбор сечения жил кабелей.

Литература: [2, с. 217 – 230; 5, с. 63 – 69].

Методические указания к заданию 3.2

По заданным номинальным мощностям трансформаторов $S_{н1}$, $S_{н2}$, $S_{н3}$ в табл. П13 необходимо выбрать тип трансформаторов на подстанциях и определить потери холостого хода ΔP_{xx} и короткого замыкания ΔP_k для них.

Потери активной ΔP_T и реактивной ΔQ_T мощности в двухобмоточных трансформаторах вычисляются по формулам

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_k \beta_T^2;$$

$$\Delta Q_T = \frac{S_{нТ}}{100} (I_{xx} + U_k \beta_T^2),$$

где ΔP_{xx} – потери холостого хода, кВт;

ΔP_k – потери короткого замыкания, кВт;

$I_{\text{хх}}$ – ток холостого хода, %;

$U_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания, %;

$S_{\text{нт}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$\beta_{\text{т}}$ – коэффициент загрузки трансформатора, определяемый как

$$\beta_{\text{т}} = \frac{S_{\text{р}}}{S_{\text{нт}}},$$

где $S_{\text{р}}$ – расчетная нагрузка трансформатора, кВ·А.

Расчетные нагрузки линий с учетом потерь в трансформаторах определяются по выражению

$$S_{\text{рли}} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n P_{\text{рi}} + \sum_{i=1}^n \Delta P_{\text{ти}}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Q_{\text{рi}} + \sum_{i=1}^n \Delta Q_{\text{ти}}\right)^2},$$

где $P_{\text{рi}}$, $Q_{\text{рi}}$ – соответственно активная и реактивная расчетные нагрузки трансформаторов, питающихся по данной линии;

$\Delta P_{\text{ти}}$, $\Delta Q_{\text{ти}}$ – соответственно потери активной и реактивной мощности в двухобмоточных трансформаторах, питающихся по данной линии.

Расчетный ток линии определяется по выражению

$$I_{\text{рли}} = \frac{S_{\text{рли}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}.$$

Сечение жил кабеля по экономической плотности тока $q_{\text{эк}}$ для каждой линии определяется по выражению (3) и округляется до ближайшего стандартного значения.

По нагреву в послеаварийном режиме сечение кабеля определяется длительным током, который может протекать по кабелю с учетом его допустимой перегрузки и перегрузки трансформаторов:

$$I_{\text{длв}} = \frac{S_{\Sigma \text{HT}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}},$$

где $S_{\Sigma \text{HT}}$ -- суммарная номинальная мощность трансформаторов, питающихся по данной линии, кВ·А.

Выбор сечения жил кабеля по термической стойкости при коротком замыкании осуществляется по формуле (4), только фиктивное время $t_{\text{ф}}$ необходимо принять равным 0,6 с, т. к. это время срабатывания защиты линии, питающей трансформаторы. Найденное по термической стойкости сечение жил кабеля округляется до ближайшего большего стандартного сечения.

Из трех полученных значений сечения кабеля окончательно принимается большее.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Технические характеристики асинхронных электродвигателей
серии АИ ($U_n = 380$ В; $n = 1500$ об/мин)

Тип	P_n , кВт	КПД, %	$\cos\varphi_n$	$k_{\text{пуск}} = I_{\text{пуск}} / I_n$
АИР71А4	0,55	70,5	0,70	5,0
АИР71В4	0,75	73,0	0,73	5,0
АИР80А4	1,1	75,0	0,81	5,5
АИР80В4	1,5	78,0	0,83	5,5
АИР90Л4	2,2	81,0	0,83	6,5
АИР100S4	3,0	82,0	0,83	7,0
АИР100Л4	4,0	85,0	0,84	7,0
АИР112М4	5,5	87,5	0,88	7,0
АИР132S4	7,5	87,5	0,86	7,5
АИР132М4	11,0	87,5	0,87	7,5

Таблица П2

Коэффициенты расчетной нагрузки K_p
для питающих сетей напряжением до 1 кВ

$n_{\text{эф}}$	Коэффициент использования K_n								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,14	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,1	1,04	1,0	1,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,1	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,3	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица П3

Технические характеристики плавких предохранителей до 1 кВ

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А		Предельный отключаемый ток, кА
		предохранителя	плавкой вставки	
НПН2-63	500	63	6; 10; 16; 20; 25; 31; 40; 63	10
ПН2-100	380	100	31,5; 40; 50; 63; 80; 100	100
ПН2-250	380	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	100
ПН2-400	380	400	200; 250; 315; 355; 400	40
ПН2-600	380	630	315; 400; 500; 630	25

Технические характеристики автоматических выключателей серий ВА 51 и ВА 52 с комбинированным расцепителем

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Кратность тока отсечки по отношению к $I_{нр}$
	выключателя	расцепителя, $I_{нр}$	
Однополюсные			
ВА 51-29	63	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 63	-
ВА 51-31-1	100	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
Трехполюсные			
ВА 51Г-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	14
ВА 51-25	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	7; 10
ВА 51-31	100	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА 51Г-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	14
ВА 52-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА 51-33	160	80; 100; 125; 160	10
ВА 52-33			

Таблица П5

Технические характеристики магнитных пускателей трехфазного тока серии ПМЛ до 1 кВ

Тип в зависимости от степени защиты		Номинальный ток, А, в режиме АС3 при степени защиты	
IP00	IP54	IP00	IP54
ПМЛ 110004	ПМЛ 121002	10	10
ПМЛ 210004	ПМЛ 221002	25	22
ПМЛ 310004	ПМЛ 321002	40	36
ПМЛ 410004	ПМЛ 421002	63	60
ПМЛ 510004	ПМЛ 521002	80	80
ПМЛ 610004	ПМЛ 621002	125	100
ПМЛ 710004	ПМЛ 721002	2001	60

Таблица П6

Кратности длительно допустимых токов проводников к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата (для сетей, не требующих защиты от перегрузки)

Тип защитного аппарата	I_3	K_3
Плавкий предохранитель	Номинальный ток плавкой вставки	0,33
Автоматический выключатель, имеющий только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку)	Ток уставки	0,22
Автоматический выключатель с регулируемой обратозависимой от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки)	Номинальный ток расцепителя	1,0
Автоматический выключатель с регулируемой обратозависимой от тока характеристикой	Ток трогания расцепителя	0,66

Таблица П7

Допустимые длительные токи для проводов с алюминиевыми жилами и поливинилхлоридной изоляцией

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одно- жильных	трех одно- жильных	четырёх одно- жильных	одного двух- жильного	одного трех- жильного
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	28
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190
150	340	275	255	-	-	-

Таблица П8

Допустимые длительные токи для кабелей напряжением до 1 кВ с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток кабелей, А				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385

Таблица П9

Ответвительные коробки шинопроводов ШРА 4

Тип коробки	Наименование аппарата	I_n , А	Номинальный ток ШРА 4, А
У2031	Предохранитель ПН2-100	100	250, 400, 630
У2032	Разъединитель	160	250, 400, 630
У2033	Разъединитель	250	400, 630
У2034	Автомат А3710	160	250, 400, 630
У2035	Автомат А3720	250	400, 630
У2038	Автомат АЕ2050	100	250, 400, 630
У2180	Разъединитель	400	400, 630

Таблица П10

**Значения экономической плотности тока
для алюминиевых проводников**

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм ² , при числе часов максимума нагрузки в год		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные провода и шины	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией	1,9	1,7	1,6

Таблица П11

Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке

Сечение жилы, мм ²	Ток кабелей, А					
	одно- жильных до 1кВ	двух- жильных до 1кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырёх- жильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	-	60/42	55/35	-	-	-
10	110/75	80/55	75/46	60/42	-	65/45
16	135/90	110/75	90/60	80/50	75/46	90/65
25	180/125	140/100	125/80	105/70	90/65	115/75
35	220/155	175/115	145/95	125/85	115/80	135/95
50	275/190	210/140	180/120	155/110	140/105	165/110
70	340/235	250/175	230/155	190/135	165/130	200/140
95	400/375	290/210	260/190	225/165	205/155	240/165
120	460/320	335/245	300/220	260/120	240/185	270/200
150	520/360	385/290	330/255	300/225	275/210	385/230
185	580/405	-	380/290	340/250	310/235	345/260
240	675/470	-	440/330	390/290	355/270	-

Примечание: перед чертой указаны токи кабелей, прокладываемых в земле; за чертой – прокладываемых в воздухе.

Таблица П8

Допустимые длительные токи для кабелей напряжением до 1 кВ с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток кабелей, А				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385

Таблица П9

Ответвительные коробки шинопроводов ШРА 4

Тип коробки	Наименование аппарата	I_n , А	Номинальный ток ШРА 4, А
У2031	Предохранитель ПН2-100	100	250, 400, 630
У2032	Разъединитель	160	250, 400, 630
У2033	Разъединитель	250	400, 630
У2034	Автомат АЗ710	160	250, 400, 630
У2035	Автомат АЗ720	250	400, 630
У2038	Автомат АЕ2050	100	250, 400, 630
У2180	Разъединитель	400	400, 630

**Значения экономической плотности тока
для алюминиевых проводников**

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм ² , при числе часов максимума нагрузки в год		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные провода и шины	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией	1,9	1,7	1,6

Таблица П11

Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке

Сечение жилы, мм ²	Ток кабелей, А					
	одно- жильных до 1кВ	двух- жильных до 1кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырёх- жильных до 1 кВ
			до 3	6	10	
6	-	60/42	55/35	-	-	-
10	110/75	80/55	75/46	60/42	-	65/45
16	135/90	110/75	90/60	80/50	75/46	90/65
25	180/125	140/100	125/80	105/70	90/65	115/75
35	220/155	175/115	145/95	125/85	115/80	135/95
50	275/190	210/140	180/120	155/110	140/105	165/110
70	340/235	250/175	230/155	190/135	165/130	200/140
95	400/375	290/210	260/190	225/165	205/155	240/165
120	460/320	335/245	300/220	260/120	240/185	270/200
150	520/360	385/290	330/255	300/225	275/210	385/230
185	580/405	-	380/290	340/250	310/235	345/260
240	675/470	-	440/330	390/290	355/270	-

Примечание: перед чертой указаны токи кабелей, прокладываемых в земле; за чертой – прокладываемых в воздухе.

Таблица П12

Поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

Расстояние между кабелями в свету, мм	Коэффициент при количестве кабелей		
	1	2	3
100	1,0	0,9	0,85
200	1,0	0,92	0,87
300	1,0	0,93	0,90

Таблица П13

Технические характеристики трансформаторов для комплектных трансформаторных подстанций

Тип	Номинальная мощность, кВ·А	Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток ХХ, %
		ХХ	КЗ		
ТМЗ-630/10	630	1,37	7,6	5,5	1,8
ТМЗ-1000/10	1000	1,9	10,8	5,5	1,2
ТМЗ-1600/10	1600	2,65	16,5	6	1
ТМЗ-2500/10	2500	3,75	24	6	0,8
ТМВМЗ-630/10	630	1,2	8,5	5,5	0,4
ТМВМЗ-1000/10	1000	1,85	11,0	5,5	0,4

Таблица П14

Шкафы распределительные серии ШР11

Тип шкафа	Номинальный ток вводного рубильника Р18, А	Число трехполюсных групп предохранителей на отходящих линиях и их номинальные токи, А
1	2	3
ШР11 – 73701	250	5 x 63
ШР11 – 73702	250	5 x 100
ШР11 – 73703	250	2 x 63 + 3 x 100

1	2	3
ШР11 – 73704	400	8 x 63
ШР11 – 73705	400	8 x 100
ШР11 – 73706	400	8 x 250
ШР11 – 73707	400	3 x 100 + 2 x 250
ШР11 – 73708	400	5 x 250
ШР11 – 73709	400	4 x 63 + 4 x 100
ШР11 – 73710	400	2 x 63 + 4 x 100 + 2 x 250
ШР11 – 73711	400	6 x 100 + 2 x 250

Таблица П15

Ящики силовые

№ пп	Тип	Номинальный ток аппарата, А	Номинальный ток предохранителей, А
1	ЯБПВУ – 1м	100	100
2	ЯБПВУ – 2	200	250
3	ЯБПВУ – 4	250	315
		315	400
4	ЯБ1 – 2	160	200
		200	250
5	ЯРП – 20	20	20
6	ЯРП11 – 311	100	250
7	ЯРП11 – 351	250	250
8	ЯПП – 15	16	16
9	ЯВЗ – 33	300	300
10	ЯВЗБ – 32	200	200
11	ЯВЗ – 32 – 1	250	–
12	ЯВЗ – 34 – 1	400	–
13	ЯВЗБ – 31 – 1	100	–

Технические данные панелей ЩО70М

Тип панели	Номинальный ток, А, и количество присоединений	Коммутационные и защитные аппараты
	Линейные панели	
ЩО70М-01	100x2 + 250x2	Рубильники с предохранителями ПН2-100
ЩО70М-02	250x4	Рубильники с предохранителями ПН2-250
ЩО70М-03	250x2 + 400x2	Рубильники с предохранителями ПН2-250 и ПН2-400
ЩО70М-04	600x1	Рубильник с предохранителем ПН2-600
ЩО70М-05	100x6	Разъединители (один на 3 присоеди- нения), автоматические выключатели А3124
ЩО70М-06	200x4	А3726Ф
ЩО70М-07	600x2	Разъединители (один на 2 присоеди- нения), автоматические выключатели А3144
ЩО70М-08	100x4	Разъединители (один на 4 присоеди- нения), А3124 (осветительная)
ЩО70М-13	400x1	Разъединитель, АВМ-4
ЩО70М-14	1000x1	Разъединитель, АВМ-10
	Вводные панели	
ЩО70М-19	400	Разъединитель, АВМ-4
ЩО70М-15	600	Рубильник, ПН2-600
ЩО70М-16	1000	Рубильник
ЩО70М-20	1000	Разъединитель, АВМ-10
ЩО70М-21	1500	Разъединитель, АВМ-15
ЩО70М-22	2000	Разъединитель, АВМ-20

Примечание: приведенные линейные и вводные панели допускают ввод снизу проводами или кабелем.

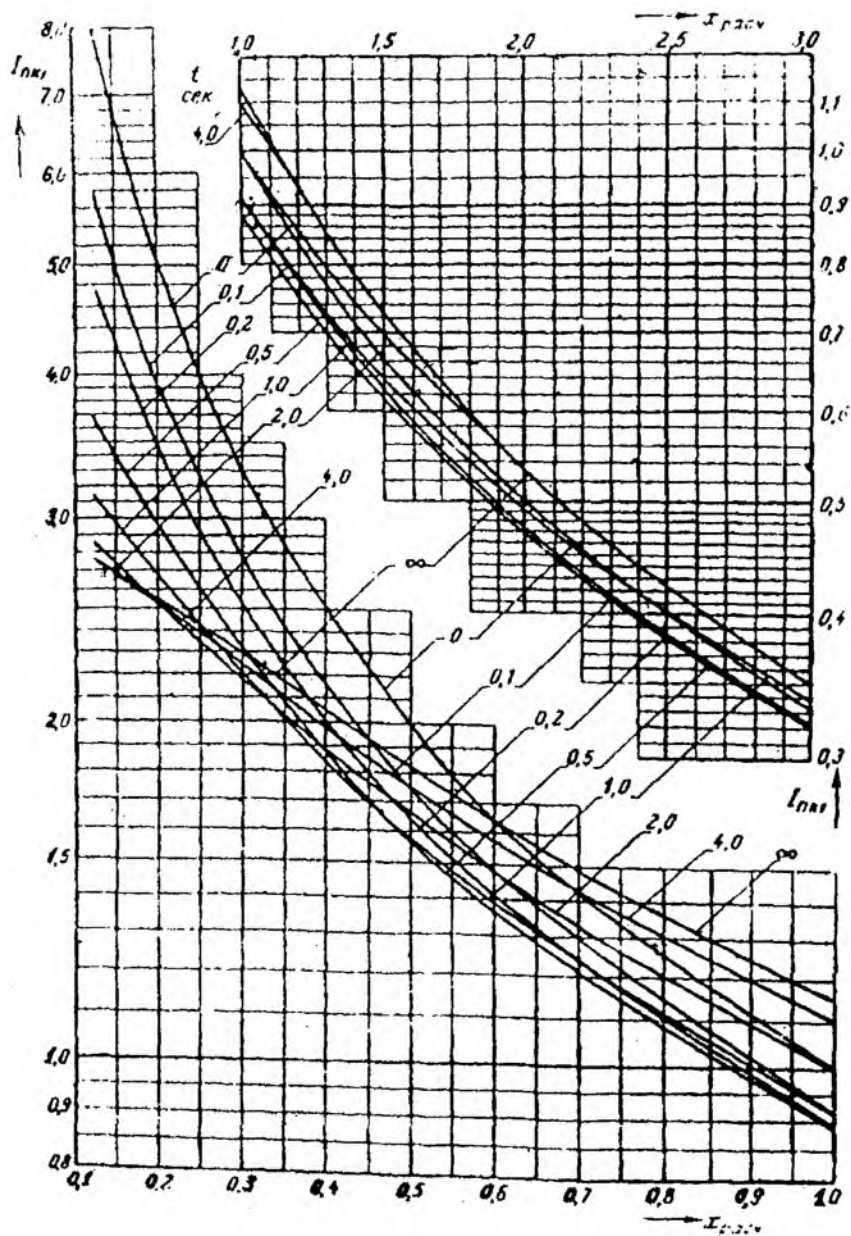


Рис. III. Расчетные кривые для типового турбогенератора с АРН

Учебное издание

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Рабочая программа, методические указания
и контрольные задания
для студентов заочной формы обучения
специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

Составители:
САЦУКЕВИЧ Валерий Николаевич
ПРОКОПЕНКО Людмила Васильевна

Редактор Н.В. Артюшевская
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

Подписано в печать 25.05.2006.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,1. Уч.-изд. л. 2,4. Тираж 100. Заказ 428.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Независимости, 65.