Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского федерального университета
Дата подписания: 18.04.2024 16:04:17
Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ
по дисциплине «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование практических работ	
4.	Содержание практических работ	
4.1	Практическая работа № 1. Графики электрических нагрузок. Нагрузочная способность проводников.	
4.2	Практическая работа № 2. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы. Нагрузочная способность трансформаторов.	
4.3.	Практическая работа №3. Аварийные режимы работы электрических систем. Проверка проводников на термическую стойкость при коротких замыканиях.	
4.4	Практическая работа №4. Короткие замыкания в электроустановках. Электродинамические силы в электроустановках.	
4.5	Практическая работа №5. Короткие замыкания в электроустановках. Проверка шинных конструкций на электродинамическую стойкость.	
4.6	Практическая работа №6. Электрические аппараты и токоведущие части. Выбор выключателей.	
4.7	Практическая работа № 7. Электрические аппараты и токоведущие части. Выбор разъединителей.	
4.8	Практическая работа № 8. Электрические аппараты и токоведущие части. Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжений.	
4.9	Практическая работа № 9. Электрические аппараты и токоведущие части. Выбор токоограничивающих реакторов.	
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
5.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины	
	Приложение	

Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины «Электрические станции и подстанции» состоит в изучение электрооборудования и схем электрических соединений электростанций и подстанций, подготовка обучающихся к проведению различных мероприятий, направленных на повышение их надежности.

Задачей дисциплины обеспечение необходимого уровня освоения содержания дисциплины, формирование профессиональных компетенций выпускника.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3. Наименование практических работ

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
7 семестр			
1	**Практическая работа № 1. Графики электрических нагрузок.** Нагрузочная способность проводников. Научиться выполнять выбор сечения проводов по экономической плотности тока.	4	
2	**Практическая работа № 2. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы.** Нагрузочная способность трансформаторов. Приобрести навык теплового расчета трансформатора и оценки работы трансформатора в разные периоды времени.	4	
3	**Практическая работа №3. Аварийные режимы работы электрических систем.** Проверка проводников на термическую стойкость при коротких замыканиях. Приобрести навык проверки проводников на термическую стойкость при КЗ.	4	
4	**Практическая работа №4. Короткие замыкания в электроустановках.** Электродинамические силы в электроустановках. Анализ и расчет электродинамических нагрузок, действующие на шины.	4	
5	**Практическая работа №5. Короткие замыкания в электроустановках.** Проверка шинных	4	

	конструкций на электродинамическую стойкость. Приобрести навыки проверки шинных конструкций.		
6	**Практическая работа №6. Электрические аппараты и токоведущие части.** Выбор выключателей. Приобрести навык расчета и выбора выключателей.	4	
7	**Практическая работа № 7. Электрические аппараты и токоведущие части.** Выбор разъединителей. Прибрести навык расчета и выбора разъединителей.	4	
8	**Практическая работа № 8. Электрические аппараты и токоведущие части.** Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжений. Приобрести навык выбора измерительных трансформаторов тока и напряжений.	4	
9	**Практическая работа № 9. Электрические аппараты и токоведущие части.** Выбор токоограничивающих реакторов. Приобрести навык выбора токоограничивающих реакторов.	4	
	Итого за 7 семестр:	**36**	
	Итого:	**36**	

4. Содержание практических работ

Практическая работа № 1. Графики электрических нагрузок. Нагрузочная способность проводников.

Цель: Научиться выполнять выбор сечения проводов по экономической плотности тока.

Основы теории:

<u>Выбор проводников по экономической плотности тока.</u> Проводники выбираются по экономической плотности тока $j_{экн}$, которая установлена Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), исходя из минимума приведенных затрат. В нормальном режиме плотность тока j должна приближаться к экономической. Сечение проводника, отвечающее этому требованию, выбирают в соответствии с выражением:

$$S \approx S_{\text{экн.}} = I_{\text{норм.расч.}}/j_{\text{экн.}},$$

где $s_{экн.}$ – экономическое сечение проводника, мм^2;

s – ближайшее (меньшее или большее) стандартное сечение проводника, мм^2;

$I_{норм.\ расч.}$ – расчетный ток нормального режима, А;

$I_{экн.}$ – экономическая плотность тока, А/мм^2 (зависит от продолжительности использования максимальной нагрузки *Тмах.*, передаваемой по линии или токопроводу, материала проводника, а также изоляции кабеля). В связи с неопределенностью в распределении рабочего тока вдоль сборных шин, режима работы и трудоемкостью определения экономического эффекта проводники сборных шин по экономической плотности тока $j_{экн.}$ не выбираются.

Проверка шин, комплектных токопроводов, кабелей и электрических аппаратов по нагрузочной способности. Температура проводника υ в рабочем режиме не должна превышать продолжительно допустимую температуру $\upsilon_{прод.}$ доп. т. е.

$$\upsilon \leq \upsilon_{\ прод.\ доп},$$

В ПУЭ установлены следующие продолжительно допустимые температуры проводников, шин и кабелей, °С:

Проводники и шины	70
Кабели с бумажной изоляцией напряжением, кВ	
Менее 3	80
6	65-75
10	60

20,35 50-55

Расчетная нормированная (номинальная) температура окружающей среды для проводников и кабелей, проложенных на воздухе, принимается 25 °С, кабелей, проложенных в земле, – 15 °С.

В соответствии с ГОСТ 8024-90 продолжительно допустимая температура неизолированных проводников устанавливается 90–120 °С в зависимости от материала поверхности разъемных (в т. ч. болтовых) контактных соединений. Такие температуры принимают в качестве критерия работоспособности проводников комплектных токопроводов (заводского изготовления), а также ошиновки комплектных распределительных устройств, которые проходят типовые испытания на нагрузочную способность.

Продолжительно допустимой температуре проводника соответствует продолжительно допустимый ток $I_{прод.\ доп}$. (для комплектных токопроводов и электрических аппаратов называемый номинальным током $I_{ном.}$). Для шин, токопроводов и электрических аппаратов условие выполняется, если выполняется соотношение

$$I_{раб.\ нб.} \leq k_{а.п.} \cdot k^{\vartheta} \cdot I_{прод\ доп.}$$

где $I_{раб.\ нб.}$ – наибольший рабочий ток ; $k_{а.п.}$ – коэффициент аварийной перегрузки; k – поправочный коэффициент на температуру окружающей среды; $I_{прод\ доп.}$ – продолжительно допустимый ток при нормированном значении температуры окружающей среды.

Для кабелей должно выполняться соотношение:

$$I_{раб.\ нб.} \leq k_{а.п} \cdot k^{\vartheta}\ k_N . k_U .\ I_{прод\ доп.}$$

где k_N. – поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, проложенных рядом в земле; k_U. – поправочный коэффициент для кабелей, работающих не при номинальном напряжении.

Условия вычисления $I_{раб.\ нб.}$:

Место определения	Условия
Параллельные или взаиморезервируемые цепи	Отключение одной из цепей
Сборные шины станций и подстанций шины в цепи секционных и шиносоединительных выключателей	Наибольшие перетоки мощности

Цепи генераторов	Работа с номинальной мощностью, при пониженном напряжении 5% от номинального

Продолжительно допустимый (или номинальный) ток $I_{прод\ доп.}$, как правило, определяется в результате испытаний, а иногда аналитически на основе теплового расчета проводников в установившемся рабочем режиме. Значения $I_{прод.\ доп.}$ кабелей и некоторых типов шин приводятся в ПУЭ, а номинальных токов комплектных токопроводов и электрических аппаратов – в каталогах и информационных материалах заводов-изготовителей, а также в справочниках.

Коэффициент аварийной перегрузки $k_{ап.}$ для токопроводов и электрических аппаратов принимается равным 1, кабелей – от 1 до 1,5 в зависимости от нагрузки в нормальном режиме и продолжительности перегрузки.

Поправочный коэффициент на температуру окружающей среды может быть определен по формуле:

$$k^{\vartheta} \approx \sqrt{\frac{\vartheta_{\text{прод.доп.}} - \vartheta_{\text{окр.}}}{\vartheta_{\text{прод.доп.}} - \vartheta_{\text{окр.ном.}}}}.$$

где $\vartheta_{\text{окр.}}$ и $\vartheta_{\text{окр.ном.}}$ – фактическая и номинальная температуры окружающей среды.

Поправочный коэффициент $k_{N.} \leq 1$ зависит от количества кабелей и расстояния между ними в свету [1, 4]; $k_{U.}$ учитывает изменения уровня продолжительно допустимого тока при использовании кабеля в сети напряжением ниже (иногда выше) его номинального напряжения [1]. При равенстве номинальных напряжений кабеля и сети $k_{U.} = 1$.

Тепловой расчет шин. Определение $I_{прод.}$ доп. можно проводить на основе теплового расчета проводников в стационарном рабочем режиме. Уравнение теплового баланса шины записывается в виде:

$$I^2 r + Q_c = Q_к + Q_л$$

где I – ток, А; r – активное сопротивление шины, Ом; $Qc.$ – тепловой поток, поглощаемый шиной при солнечной радиации, Вт; $Q_{K.}$ и $Q_{л.}$ – тепловые потоки, обусловленные конвекцией и излучением, Вт.

Активное сопротивление

$$r = k_{д.}\ r,$$

где r – сопротивление шины постоянному току при допустимой температуре продолжительного режима;

k_{∂}. – коэффициент добавочных потерь.

Сопротивление шины постоянному току зависит от температуры и вычисляется по формуле:

$$r_{=} = \rho_1 l\left[1 + \alpha_\rho(\vartheta - \vartheta_1)\right]/s$$

где ρ_1 – удельное электрическое сопротивление, при нормированной температуре ϑ_1, Ом·м;

l – длина проводника, м; s – площадь сечения проводника, м^2 ;

$a_{р.}$– температурный коэффициент электрического сопротивления, 1/°С; ϑ – температура, °С.

В диапазоне температур 20 ... 120 °С коэффициент *ар* для меди, алюминия и его сплавов остается практически постоянным и примерно равным 0,004 1/°С [5].

Коэффициент добавочных потерь:

$$k_{д.} = k_n k_{б.},$$

где $k_{п.}$, $k_{б.}$ – коэффициенты соответственно поверхностного эффекта и эффекта близости.

В зависимости от функции $\sqrt{f/R}$ коэффициент $k_{п.}$ определяется, например, по кривым. Здесь f – частота тока в сети, Гц; R – сопротивление постоянному току шины длиной 1000 м. Для шин кольцевого сечения $k_п$ приближенно вычисляется по формуле:

$$kп .\approx 1+3{,}3\cdot 10^{-10}(t /D\cdot r=)^2$$

где D и t – внешний диаметр и толщина стенки шины, м;

r– сопротивление шины постоянному току, Ом/м.

В распределительных устройствах (РУ) напряжением выше 1 кВ расстояние между шинами разных фаз значительно больше их геометрических размеров. Поэтому для несоставных шин kб. ≈ 1 и kд. ≈ kп..

Для многополосных шин (рисунок 1.1) kд. примерно равен коэффициенту добавочных потерь эквивалентной уединенной плоской шины шириной $h_{эк.}$, равной ширине полосы пакета h, и толщиной $b_{эк.}=N\cdot b$, где

N – число полос в пакете; b – толщина полосы.

Тепловые потоки от шины конвекций $Q_к$ и излучением Qл составляют соответственно:

$$Q_{к.} = q_{к.}\cdot F_{к.};$$

$$Q_{л.}=q_{л.}\cdot F_{л.},$$

где $q_{к.}$ и $q_{л.}$ – удельная теплоотдача (удельный тепловой поток) соответственно конвекцией и излучением, Вт/м; $F_{к.}$ – поверхность шины, участвующая в теплоотдаче конвекцией, м^2; $F_{л.}$ – излучающая поверхность шины, м^2 .

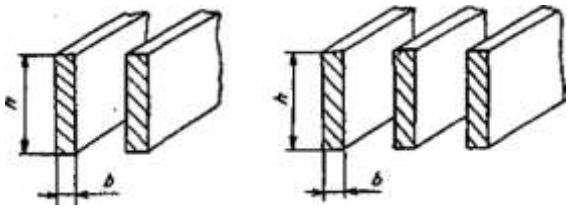


Рисунок 1.1 – Многополюсные шины

Удельный тепловой поток конвекцией рассчитывается по формуле:

$$q_{к\text{-}}=\alpha_{к}(\vartheta-\vartheta_{в}),$$

где $\alpha_{к.}$ – коэффициент теплоотдачи при конвекции, Вт/м^2; $\vartheta_{в\ в.}$ – температур воздуха, °С.

Для круглых и плоских шин, расположенных вертикально, коэффициент теплоотдачи при естественной конвекции в закрытом РУ (ЗРУ) приближенно определяется согласно как:

$$\alpha_{к.}=\frac{A\lambda_{в.}}{L}\left(\frac{g}{T_{в.}}(\vartheta-\vartheta_{в.})\frac{L^3}{v_{в.}^2}\right)^{1/4},$$

где g=9,81 – ускорение свободного падения, м/с;

$T_{в.}$=273+$\vartheta_{в.}$ – термодинамическая температура воздуха, К; $\nu_{В.}$ – кинематическая вязкость воздуха, м /с;

Aв. – теплопроводность воздуха, Вт/(м·°С);

A – постоянный коэффициент, зависящий от формы шин;

L – характерный размер (высота или диаметр шины).

Указания о характере L, а также значения A приведены в таблице 1.1. Параметр $\nu_{в.}$ зависит от температуры, а $\lambda_{в.}$, кроме того – от давления воздуха. При температуре воздуха, близкой к 25 °С, и нормальном атмосферном давлении удельный тепловой поток конвекцией можно вычислить по формуле:

$$q_{к.}=B(\vartheta-\vartheta_{B.})^{1.25}L^{-0.25}$$

где B – параметр, значения которого приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Параметры сечения шин

Форма сечения шины	Характерный размер шины L равен	A	B
Круглая трубчатая	внешнему диаметру D	0,46	1,31
Прямоугольная (при расположении шины на ребро)	высоте L	0,695	1,97

Конвективная теплоотдача шины открытого РУ (ОРУ) зависит как от перепада температур, профиля и размеров шины, так и от скорости ветра. Наименьшая теплоотдача и, следовательно, наиболее неблагоприятные условия работы шин будут при штиле (т. е. при скорости ветра, близкой к нулю). Тем не менее, даже при полном штиле конвективный теплообмен проводников в ОРУ остается выше, чем в ЗРУ (при свободной конвекции), так как вне помещений всегда имеется слабое движение воздуха. Удельный конвективный тепловой поток, например, от трубчатых шин в ОРУ при штиле приближенно определяется по формуле:

$$q_{к.} = B_0(\vartheta - \vartheta_{B.})^{1.25} L^{-0.25}$$

где B_0 = 1,61 Вт/(м^{0,75}·°С^{1,3}); L – характерный размер, равный внешнему диаметру шины D, м.

В соответствии с (1.15) и (1.16) удельный конвективный тепловой поток в ЗРУ и ОРУ приводится к виду, удобному для практических расчетов:

$$q_{к.} = C / L^{1/4}.$$

Значения C, Вт·м$^{-1,75}$ при различных температурах воздуха (и соответствующей теплопроводности и кинетической вязкости воздуха), а также различных температурах шин указаны в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Значения C при различных температурах, Вт·м$^{-1,75}$

Форма сечения шины	Тип установки	C, Вт·м$^{-1,75}$, при		
		$\vartheta_{в.}$=25 °С $\vartheta_{прод.доп.}$=70 °С	$\vartheta_{в.}$=35 °С $\vartheta_{прод.доп}$ =90 °С	$\vartheta_{в.}$=35 °С $\vartheta_{прод.доп}$=120 °С
Круглая (трубчатая)	ЗРУ ОРУ	152 227	195 295	335 519
Прямоугольная (шина расположена на ребро)	ЗРУ	230	295	508

Для составных проводников теплоотдачу конвекцией с внутренней поверхности приближенно принимают равной 0,7 от теплоотдачи с наружной поверхности.

Удельный тепловой поток излучением, Вт/м , определяют по формуле:

$$q_л = \varepsilon\, c \cdot (T^4 - T^4_в),$$

Тепловой поток, поглощаемый шиной при солнечной радиации (на единицу длины), приближенно определяется по формуле:

$$Q_с \approx a_с \cdot L\, q_с.$$

$$I_{прод.доп} = \sqrt{\frac{Q_{к.доп.} + Q_{л.доп.} + Q_{с.}}{r_{доп.}}}$$

Тепловой расчет удобно проводить на 1 м длины шины.

Таблица 1.3 – Коэффициенты излучения поверхности шины

Материал шины или цвет краски	Значения коэффициентов	
	ε	$a_с$
Алюминий (окисленный)	0,15	0,4
Краска:		
белая	0,88	0,3
желтая	0,9	0,44
зеленая	0,9	0,65
красная	0,9	0,65
черная	0,92	0,97

Задания:

Задание №1

Определить допустимый ток продолжительного режима однополосных и двухполосных шин (см. рисунок 1.1а) ЗРУ, расположенных на ребро и плашмя. Шины изготовлены из алюминия марки АДО и окрашены эмалевой краской. Размер одной полосы шины 60х8 мм.

Задание №2

Выбрать сечение алюминиевых шин открытого (неэкранированного) участка токопровода в цепи генератора типа ТВФ-110-2ЕУЗ (рисунок 1.2). Номинальные данные генератора: $P_{ном}$=110 МВт; $U_{ном.}$=10,5 кВ; $\cos\varphi_{ном}$=0,8. График нагрузки генератора представлен на рисунке 1.3. Принять температуру воздуха в ЗРУ равной нормированной, т. е. 25 °С.

Задание №3

Выбрать сечение алюминиевых шин, соединяющих трансформатор типа ТДЦ-80000/220 со сборными шинами 10 кВ ТЭЦ (см. рисунок 1.2). В нормальном режиме

нагрузка каждого трансформатора составляет 63 % его номинальной мощности, а при отключении одного из них нагрузка оставшегося в работе трансформатора превышает его номинальную мощность на 26 %. Продолжительность использования максимальной нагрузки трансформатора *Tmax.* = 6300 ч. Температуру воздуха принять равной 25 °С.

Задание №4

Выбрать сечение алюминиевых шин в цепи трансформатора собственных нужд (ТСН) типа ТДНС-10000/10 (рисунок 1.4) на стороне высшего напряжения. Продолжительность использования максимальной нагрузки *Tmax.* = 7500 ч. Максимальная температура воздуха в распредустройстве 35 °С. При повреждении рабочего трансформатора потребители собственных нужд получают питание от резервного трансформатора

Задание №5

Выбрать и проверить по условиям нагрева в рабочем режиме кабели с алюминиевыми жилами, связывающие распределительные пункты РП 1 и РП 2 (рисунок 1.5) с шинами 10 кВ ТЭЦ. Максимальная нагрузка пункта РП 1 составляет *Pmax.* = 8 МВт, пункта РП 2 – *Pmax.* =3 МВт; коэффициент мощности нагрузки *cosφ* = 0,9. Кабели проложены в земле, температура почвы 15 °С. Суточные графики нагрузки распределительных пунктов представлены на рисунке 1.6

Задание №6

а) выбрать сечение алюминиевой шины по условию допустимой температуры в длительном режиме. Максимальная трехфазная нагрузка цепи равна 3200 кВт, междуфазное напряжение – 6 кВ, коэффициент мощности – 0,88.

б) проверить, удовлетворяет ли выбранное в пункте (а) сечение шины условию экономической плотности тока при продолжительности использования максимума нагрузки, равной 6000 ч.

Задание №7

По условиям рабочего режима выбрать шины в ячейке РУ 10 кВ цепи турбогенератора типа ТВФ-100-2, имеющего следующие параметры: *Pн.*= 100 МВт, *Uн.*= 10,5 кВ, *cosφ*=0,85, *Iн.*=6,48 кА. Турбогенератор работает с номинальной нагрузкой 7 месяцев в году,

а остальное время несет нагрузку0,6 номинальной. Сравнить по величине поперечного сечения алюминиевые шины трех профилей: а) коробчатые, б) трубчатые круглого сечения, в) трубчатые квадратного сечения.

Задание №8

Медная шина с допустимым длительным током 860 А несет токовую нагрузку 750 А. Определить, допустим ли для шины указанный ток, если температура окружающего воздуха будет +40 °С.

Задание №9

Определить температуру алюминиевой окрашенной шины сечением 80х8 мм^2 при рабочем токе 700 А и при температурах воздуха: а) +25 °С б) +15 °С.

Задание №10

Трехжильный кабель с бумажной пропитанной изоляцией, напряжением 10 кВ, сечением алюминиевой жилы 150 мм^2 проложен в туннеле и нагружен током 175 А. Проверить, сможет ли кабель длительно работать с указанной нагрузкой, если температура воздуха в туннеле поднялась до +35 °С.

Таблица 1.4 – Допустимый ток продолжительного режима неокрашенных и окрашенных шин без учета солнечной радиации

Тип установки	Окраска шин	Тепловой поток, Вт			Допустимый рабочий ток, А	
		$Q_к$.	$Q_л$.	$Q_с$.	с учетом солнечной радиации	без учета солнечной радиации
	неокрашенные		15,9	34	1617	1853
	белая		93,2	25,5	2163	2300
ОРУ	желтая	126,9	95,4	37,4	2108	2312
	зеленая		95,4	52,7	2019	2312
	красная		95,4	55,2	2004	2312
	неокрашенные		15,9			1529

ЗРУ	белая желтая,	84,8	93,2 95,4	0	-	2068 2081
	зеленая,				-	
	красная				-	

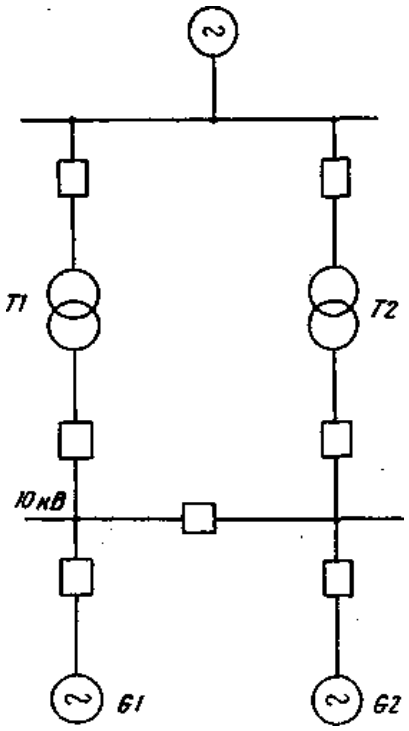


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема ТЭЦ

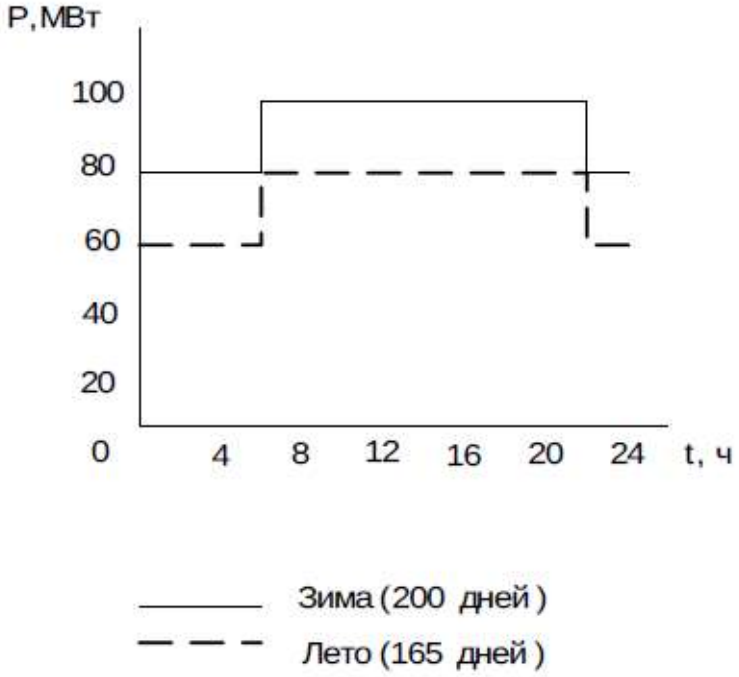


Рисунок 1.3 – Суточные графики нагрузки генератора

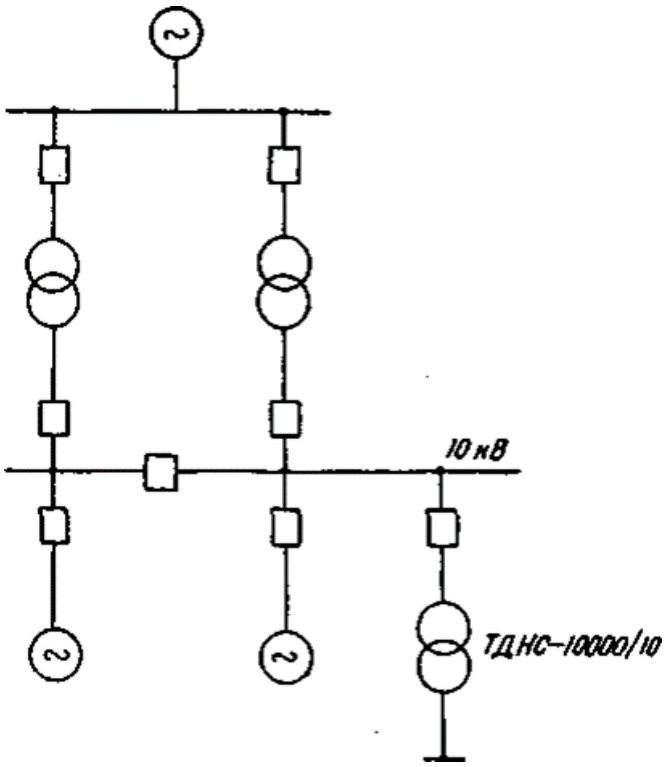


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема ТЭЦ с трансформатором СН

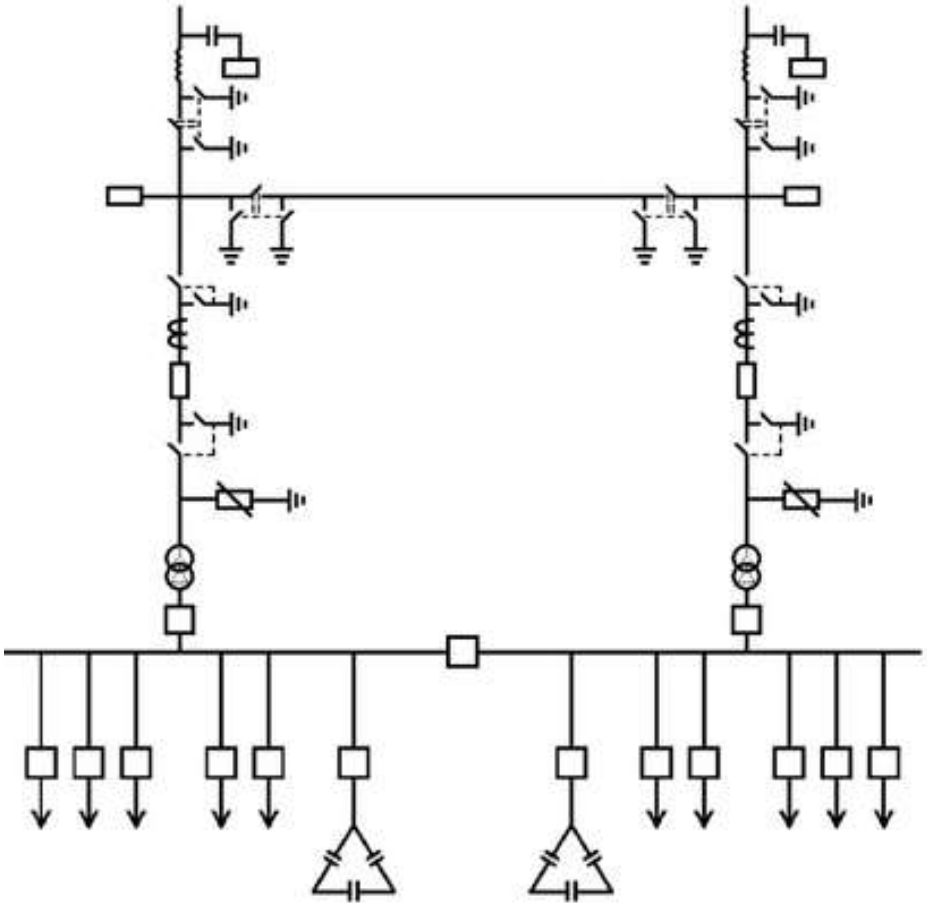


Рисунок 1.5 – Схема электроснабжения потребителей 10 кВ

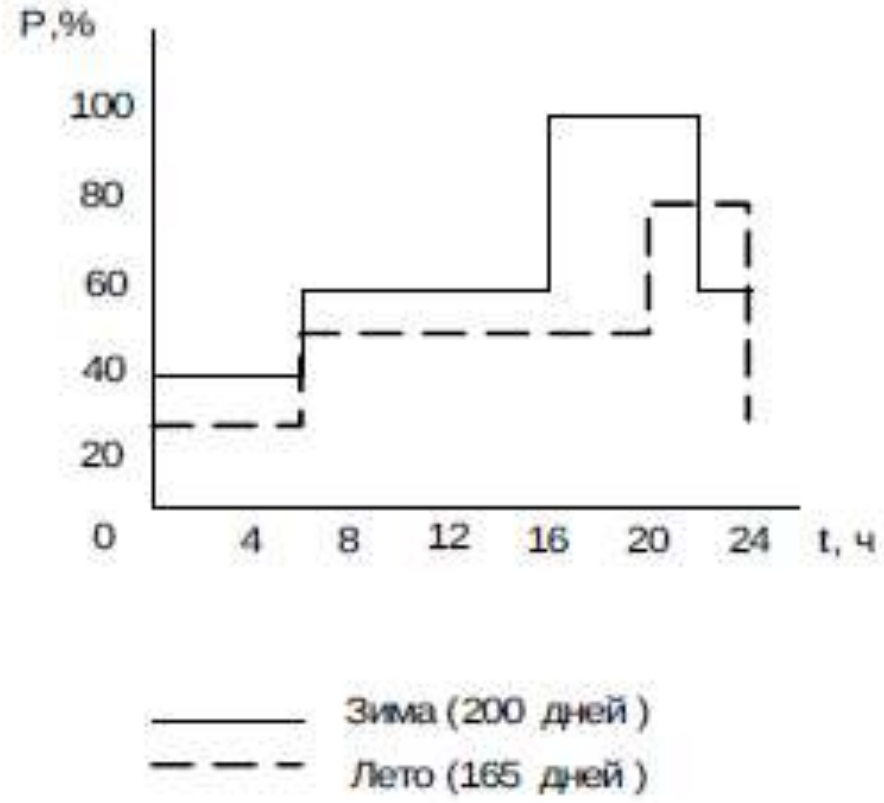


Рисунок 1.6 – Суточные графики нагрузки распределительных пунктов

Контрольные вопросы:

1. Как осуществляется проверка шин по условия нагрузочной способности?

2. Как влияет на допустимый продолжительный ток шин удельное электрическое сопротивление материала?

3. Изложите понятие о выборе проводников по экономической плотности тока.

4. Объясните влияние солнечной радиации на продолжительный ток шин.

5. Перечислите от чего зависит конвективная теплоотдача шины открытого РУ (ОРУ).

Практическая работа № 2. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы. Нагрузочная способность трансформаторов.

Цель: Приобрести навык теплового расчета трансформатора и оценки работы трансформатора в разные периоды времени.

Основы теории:

Выбор трансформаторов на электростанциях и подстанциях заключается в выборе типа, количества, номинальной мощности, и номинального коэффициента трансформации.

Номинальной мощностью трансформатора называют кажущуюся мощность (нагрузку), которую трансформатор может нести непрерывно в течение всего нормального срока службы при номинальных режимных условиях (номинальных напряжении, частоте и температуре охлаждающей среды). Нормальный срок службы назначают примерно равным сроку морального старения.

Действительный срок службы трансформатора определяет процесс старения изоляции его обмоток, который, в свою очередь, зависит от температуры изоляции обмоток. Для бумажной изоляции, погруженной в масло, нормальный срок службы обеспечивается при работе с неизменной температурой 98 °С. Следовательно, трансформатор будет иметь нормальный срок службы в том случае, если температура в наиболее нагретой точке его обмоток будет неизменна и равна 98 °С. В этих условиях изоляция трансформатора подвергается так называемому номинальному (нормальному) износу.

Превышение температуры обмоток трансформатора над температурой окружающего воздуха зависит от мощности нагрузки. Номинальную мощность трансформатора назначают в соответствии с нормированным превышением температуры обмоток над температурой воздуха. Однако при установке трансформатора на открытом воздухе температура последнего не постоянна, а изменяется в течение года в соответствии с климатическими условиями. Для каждой климатической зоны может быть установлена так называемая эквивалентная по износу изоляции температура воздуха за время Т, при которой трансформатор, работая с неизменной нагрузкой, имеет такой же износ изоляции, как в действительных условиях при переменной температуре воздуха за рассматриваемый период времени. В качестве номинальной температуры охлаждающей среды принята температура + 20 °С. Для верхних сдоев масла нормированное превышение температуры при номинальной нагрузке Θм(н) равно: для систем охлаждения М и Д – 55 °С, для систем охлаждения Ц и ДЦ –40 °С.

При выборе номинальной мощности трансформатора следует учитывать его способность к перегрузкам.

Систематические перегрузки – это такие перегрузки, которым трансформатор может подвергаться систематически (ежесуточно в часы суточного максимума нагрузок), причем износ изоляции за рассматриваемый период не превышает номинального.

Если трансформатор в течение некоторого времени работает с нагрузкой менее номинальной, то износ его изоляции идет замедленно против расчетных условий. За счет этого трансформатор можно перегрузить на каком-то другом отрезке времени, т. е. пойти на усиленный против номинального износ изоляции, но так, чтобы суммарное число отжитых часов равнялось расчетному.

Для оценки допустимости систематической перегрузки трансформатора в часы суточного максимума необходимо выполнить расчет его температурного режима, т. е. вычислить изменение температуры масла и обмоток трансформатора в течение суток. Для этой цели можно воспользоваться следующими расчетными выражениями, справедливыми при внезапном изменении коэффициента (кратности) нагрузки k от $k_1=S_1/S_H$. до $k_2= S_2 / S_H$. (S_H. – номинальная мощность трансформатора).

Превышение температуры масла (в верхних слоях) над температурой охлаждающей среды:

$$\Theta_м = \Theta_1 + (\Theta_1 - \Theta_1) \cdot \left(1 - \iota^{\frac{1}{\tau}}\right)$$

где Θ1 – превышение температуры масла, соответствующее коэффициенту начальной нагрузки k1,

$$\Theta_1 = \Theta_{м(н)} \cdot \left(\frac{1 + b \cdot k_1^2}{1 + b}\right)^m$$

Θ2 – превышение температуры масла, соответствующее коэффициенту нагрузки k2,

$$\Theta_1 = \Theta_{м(н)} \cdot \left(\frac{1 + b \cdot k_2^2}{1 + b}\right)^m$$

где b – отношение потерь короткого замыкания к потерям холостого хода;

τ – постоянная времени теплового процесса трансформатора, ч;

t – время, ч;

m – показатель степени, зависит от системы охлаждения.

Превышение температуры обмотки над температурой охлаждающей среды

$$\Theta_{об.} = \Theta_м + \Delta\Theta_{об.(н).} \cdot K^{2m}$$

где ΔΘоб.(н.) – суммарный перепад температуры между наиболее нагретой точкой изоляции и верхними слоями масла при номинальной нагрузке. Значения ΔΘоб.(н.) и m приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Значения ΔΘоб.(н.) и m

Система охлаждения	М	Д	Ц , Д Ц
ΔΘоб. (н.), °С	23	23	38
m	0,8	0,9	1

Температуры масла и обмоток определяют добавлением температуры охлаждающей среды ϑ_0:

$$\vartheta_{\text{м}} = \Theta_{\text{м}} + \vartheta_0$$

$$\vartheta_{\text{об}} = \Theta_{\text{об}} + \vartheta_{\text{о}}$$

Изменение температуры обмотки определяет процесс старения изоляции в течение суток. Износ изоляции удобно характеризовать величиной относительного износа, т. е. отношением суточного износа изоляции в рассматриваемом режиме к номинальному суточному износу (износу в условиях, когда температура обмотки в наиболее нагретой точке постоянна и равна 98 °С).

Относительный износ изоляции Ĺ рассчитывается в соответствии с шестиградусным правилом: при изменении температуры обмотки на 6 °С срок службы трансформатора изменяется в два раза:

$$L = 2^{\frac{\vartheta_{\text{об.}} - 98}{6}}$$

Систематическая нагрузка по рассматриваемому графику допустима, если среднесуточный относительный износ изоляции не превышает единицы:

$$L = \frac{1}{24}\int_0^{24} L dt \leq 1$$

На графиках (2.2, 2.3, 2.4), построенных для масляных трансформаторов с системой охлаждения Д, постоянной времени 2,5 ч, при эквивалентной температуре охлаждающей среды 0, 10 и 20 °С. Графики взяты из ГОСТ 14209 -69 [3]. В таблице 2.2 даны постоянные времени трансформаторов, а на рисунке 2.1 – эквивалентный двухступенчатый суточный график нагрузки трансформатора, для которого построены расчетные кривые.

По оси абсцисс отложена кратность k предшествую щей нагрузки трансформатора или коэффициент начальной нагрузки (отношение начальной нагрузки к номинальной), а

по оси ординат– коэффициент допустимого превышения нагрузки $k_{доп}$ по току или при неизменном напряжении – по полной мощности. Кривые построены для различных продолжительностей перегрузок t: от 0,5 до 24 ч.

Мощность трансформатора, МВА	0,005–1,0	1,0–6,3	6,3–32	32–63	80–125	125 и выше
Система охлаждения	М		Д		Ц и ДЦ	
Постоянная времени, ч	2,5	3,5	2,5	3,5	2,5	3,5

В случае двухступенчатого рабочего графика нагрузки порядок определения допустимой перегрузки трансформатора по кривым нагрузочной способности следующий:

1) В соответствии с максимальной расчетной нагрузкой намечается тип и номинальная мощность трансформатора Sн и вычисляется его перегрузка:

$$k_2 = S_2/S_н;$$

2) Определяется коэффициент начальной нагрузки:

$$k_1 = S_1/S_н;$$

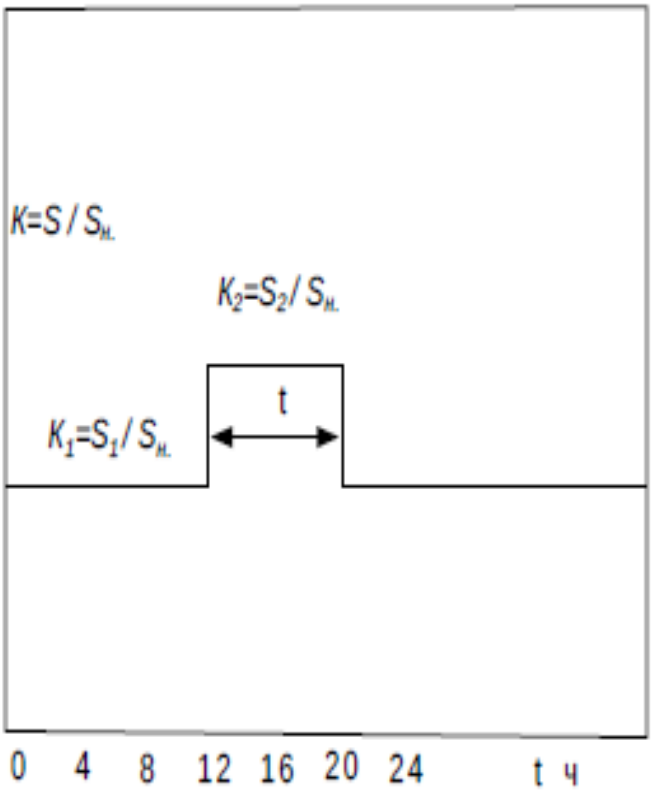


Рисунок 2.1 – Расчетный двухступенчатый график нагрузки трансформатора

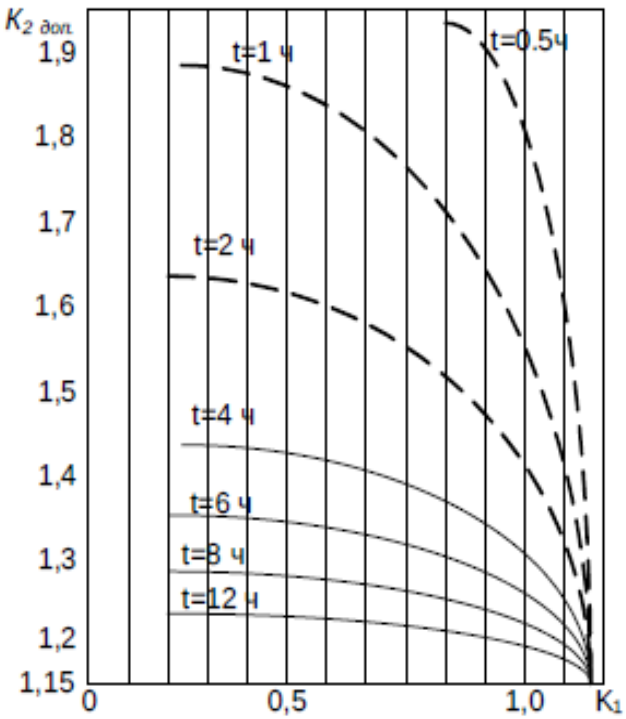


Рисунок 2.2 – График нагрузочной способности трансформаторов с системой охлаждения Д при τ=2,5 ч и ϑ=0 ºС

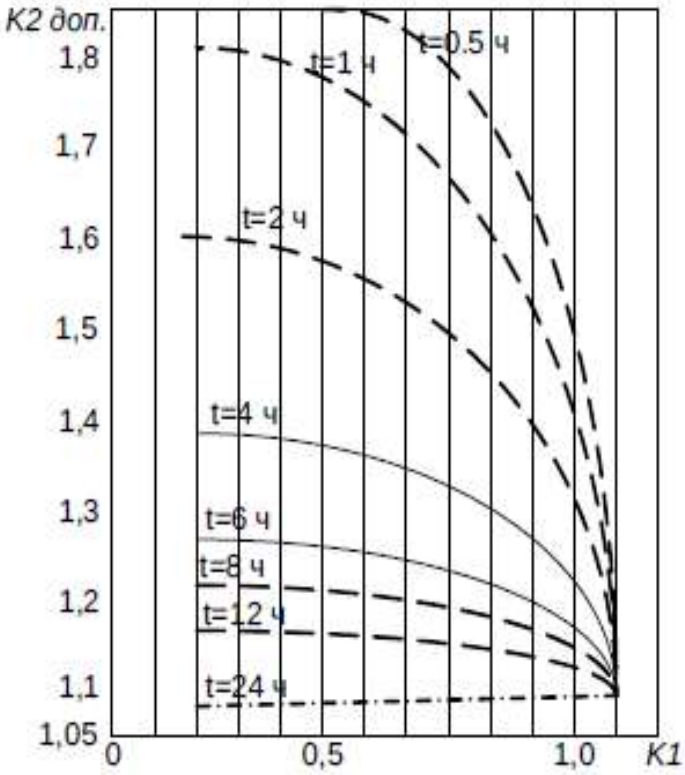


Рисунок 2.4 – Нагрузочная способность трансформаторов с системой охлаждения Д при τ=2,5 ч и ϑ=+20 ºС

3) пользуясь таблицей 2.2, определяют для намечаемого к установке трансформатора его постоянную времени. В зависимости от вида системы охлаждения, постоянной времени и эквивалентной температуры охлаждающей среды выбирают нужное семейство расчетных графиков нагрузочной способности;

4) по графикам для коэффициента начальной нагрузки k_1 и расчетной продолжительности перегрузки t находят коэффициент допустимого превышения нагрузки $k_{2доп}$.;

5) сравнивая расчетный k_2 и допустимый $k_{2доп}$. коэффициенты превышения нагрузки, делают заключение о допустимости такого режима для трансформатора.

Если суточный график многоступенчатый, то его предварительно преобразуют в эквивалентный двухступенчатый трафик с нагрузками: эквивалентная начальная нагрузка за время 10 ч, предшествующее началу наибольшей перегрузки:

$$S_{1э} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n1} S_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^{n1} t_i}}$$

Эквивалентная нагрузка на второй ступени (при перегрузке):

$$S_{2э} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n2} S_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^{n2} t_i}}$$

где *S*i – нагрузка *i*-й ступени; *ti* – время *i*-й ступени; *n*1 – число ступеней за время 10 ч до начала перегрузки; *n2* – число ступеней за время перегрузки *t.*

В случае двух превышений нагрузки над номинальной, меньший максимум учитывают при вычислении *S1э*. . Расчет *S1э* ведут за 10 ч до или после большего максимума в зависимости от того, где расположен меньший максимум. Если трансформатор круглый год работал с одинаковым суточным графиком нагрузки, то при оценке допустимых перегрузок принимают годовую эквивалентную температуру охлаждающей среды. Если летний график нагрузки трансформатора ниже зимнего, то следует воспользоваться сезонными эквивалентными температурами охлаждающей среды и определить отдельно допустимость соответствующих перегрузок зимой и летом.

Аварийные перегрузки – это такие перегрузки, которые можно допустить на трансформатор в редких аварийных случаях (например, при отключении одного из параллельно работавших трансформаторов) без его повреждения. Значения допустимых аварийных перегрузок назначают таким образом, чтобы температуры обмоток и масла трансформатора не превышали значений, при которых происходят необратимые процессы, препятствующие дальнейшей нормальной работе трансформатора. Максимально допустимая температура для масла составляет 115 °С, для изоляции обмоток (в наиболее нагретой точке) -140 °С.

При аварийных перегрузках идут на повышенный против нормального износ изоляции. Так как эти случаи в эксплуатации достаточно редки, а время аварийного режима ограничено, то значительного снижения срока службы против нормального при этом не происходит.

Согласно [7] в аварийных условиях в течение не более 5 суток допускается перегрузка масляных трансформаторов до 40 % на время суточного максимума продолжительностью не более 6 ч в сутки, причем коэффициент начальной нагрузки *k1* не должен быть более 0,93.

Допустимую аварийную перегрузку *k2доп.*=1,4 следует рассматривать как некоторый условный расчетный коэффициент, используемый при выборе трансформаторов по условиям аварийной перегрузки. Величину допустимой аварийной перегрузки в эксплуатации назначают в зависимости от конкретных условий: графика нагрузки, температуры охлаждающей среды. Ее определяют расчетом теплового режима трансформатора.

***Выбор трансформаторов на подстанциях*.** В тех случаях, когда на подстанции оказывается возможным установить один трансформатор, выбор его номинальной мощности производят с учетом способности трансформатора к систематическим перегрузкам.

При установке на подстанции двух трансформаторов выбор их номинальной мощности осуществляют с учетом возможности аварийной перегрузки при повреждении и одном из трансформаторов. В нормальном режиме оба трансформатора работают с заметной недогрузкой.

Если на подстанции имеется три напряжения, то, как правило, устанавливают трехобмоточные трансформаторы или автотрансформаторы, что в большинстве случаев дает заметные экономические выгоды по сравнению с двухобмоточными трансформаторами. Понижающие автотрансформаторы, экономически всегда выгоднее трехобмоточных трансформаторов, но их применение возможно только в тех случаях, когда сети высшего и среднего напряжений работают с эффективно заземленными нейтралями.

Если проектируемая подстанция имеет связь на стороне низшего (среднего) напряжения с электростанцией, то при выборе трансформаторов на подстанции необходимо учитывать протекающие через них дополнительные потоки обменной мощности станции с системой.

Выбор трансформаторов на электростанциях. Для электростанций, имеющих местную нагрузку на генераторном напряжении, предварительно составляют характерные суточные графики обменной мощности станции с системой в нормальном режиме. Кроме того, рассматривают потоки обменной мощности в аварийных режимах: а) при выходе из

работы одного наиболее крупного генератора станции, подключенного к шинам генераторного напряжения (при этом в случае необходимости остальные генераторы форсируют мощность до номинального значения); б) при аварийном состоянии в системе, когда генераторы данной станции должны форсировать мощность до номинальной. На основании анализа полученных графиков выбирают число и номинальную мощность трансформаторов связи с системой.

Связь с системой через один трансформатор возможна лишь при выполнении двух условий: а) если мощность, выдаваемая станцией в систему в нормальном режиме, не превышает аварийного резерва; б) если снижение тепловых отборов турбины, обусловленное вынужденным ограничением электрической мощности станции при нарушении связи с системой, восполнимо с помощью редукционно–охладительной установки (РОУ) (производительность РОУ обычно рассчитывается на резервирование одной турбины). Установка одного трансформатора связи на станции – довольно редкое явление.

На электростанциях районного типа, выдающих всю вырабатываемую электроэнергию на повышенных напряжениях, генераторы включают в блоки с повышающими трансформаторами (автотрансформаторами). Номинальная мощность трансформатора должна обеспечивать выдачу всей активной и реактивной мощности генератора.

На гидроэлектростанциях часто экономически целесообразно применять укрупненные блоки. Мощность укрупненного блока не должна превышать аварийного резерва в системе.

Трансформаторы и автотрансформаторы для станций и подстанций принимают, как правило, трехфазными с регулированием напряжения под нагрузкой, кроме двухобмоточных трансформаторов, включаемых в блоки с генераторами.

Вышеизложенные методические указания, решения и ответы к задачам составлены в соответствии с действующими стандартами и нормами. Однако при проектировании электроустановок приходится учитывать значительно более широкий круг обстоятельств, чем задается в условиях задач. Учет этих факторов может изменить решение, заставив выбрать трансформатор большей мощности по сравнению с той, которая оказалась принятой при локально заданных исходных условиях.

Задания:

Задание №1

Трансформатор типа ТД работает по двухступенчатому графику нагрузки (рисунок 2.6) при эквивалентной температуре охлаждающей среды (воздуха) +20 °С.

Постоянная времени равна 2,5 ч, отношение потерь короткого замыкания к потерям холостого хода равно 5. Рассчитать тепловой режим трансформатора.

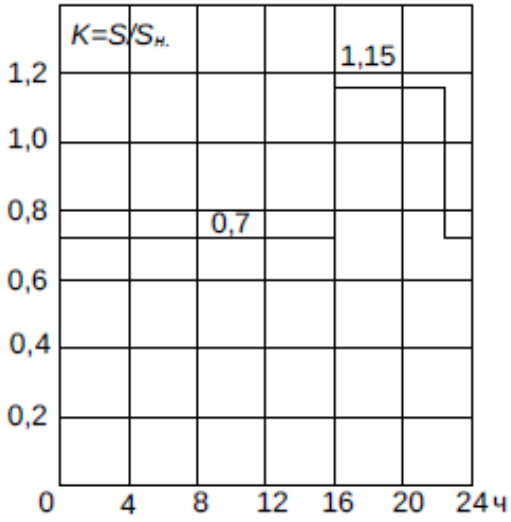


Рисунок 2.6 – Двухступенчатый график

Задание №2

Оценить может ли трансформатор типа ТД-16000/110, рассчитанный на номинальную мощность 16000 кВА, в течение зимнего сезона работать по суточному графику, приведенному на рисунке 2.7.

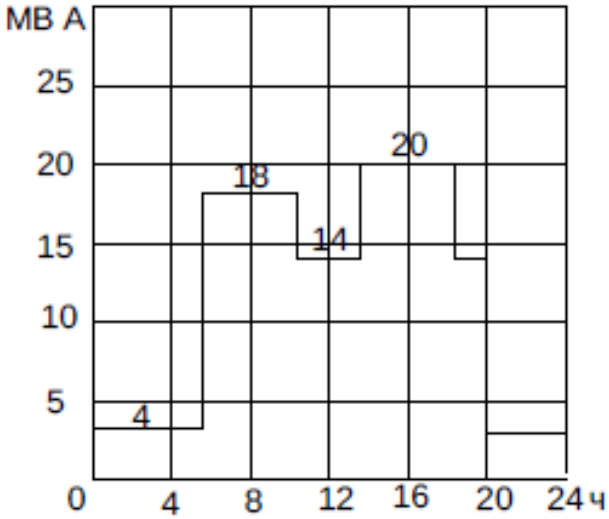


Рисунок 2.7 – Суточный график нагрузки

Задание №3

Определить, может ли трансформатор типа ТД, рассчитанный на номинальную мощность 16000 кВА, работать по суточному графику, приведенному на рисунке 2.7, если эквивалентная летняя температура составляет +20 °С (Ростов-на-Дону).

Задание №4

Пользуясь стандартной шкалой номинальных напряжений, укажите, при каком соотношении напряжений применение двухобмоточного автотрансформатора окажется экономически наиболее выгодным и почему?

Задание №5

Определить номинальную мощность трехфазного автотрансформатора, а также ее составляющие: мощности, передаваемые электрическим и электромагнитным путями, если $U1н.$= 220 кВ; $U2н$.= 121 кВ и $I1н.$=328 А.

Задание №6

Определить величину наибольшего возможного перенапряжения в сети СН (в долях от номинального фазного напряжения) при металлическом замыкании фазы на землю в сети ВН, если связь осуществляется с помощью автотрансформатора 220/35 кВ. Принять, что сети ВН и СН работают с разземленными нейтралями. Возможно ли применение такого автотрансформатора?

Задание №7

Выбрать число, тип и номинальную мощность трансформаторов для понижающей подстанции 35/3,5 кВ, предназначенной для электроснабжения потребителей 3 категории с максимальной нагрузкой 11,5 МВт при cosφ=0,92. Эквивалентная температура воздуха: зимой 0 °С, летом +10 °С. Суточные графики нагрузок в зимний и летний периоды года приведены на рисунке 2.8.

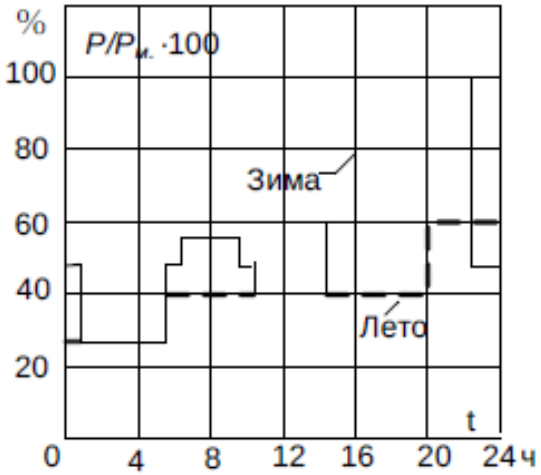


Рисунок 2.8 – Суточные графики нагрузок в зимний и летний периоды

Задание №8

Выбрать число, тип и номинальную мощность трансформаторов для понижающей подстанции 110/38,5/11 кВ, предназначенной для электроснабжения потребителей 3 категории. Максимальная нагрузка сети СН 6500 кВт при cosφ=0,9, сети НН–11500 кВт при том же cosφ. Эквивалентная температура воздуха +20 °С летом и +5 °С зимой. Суточные графики нагрузок сетей СН и НН приведены на рисунке 2.9.

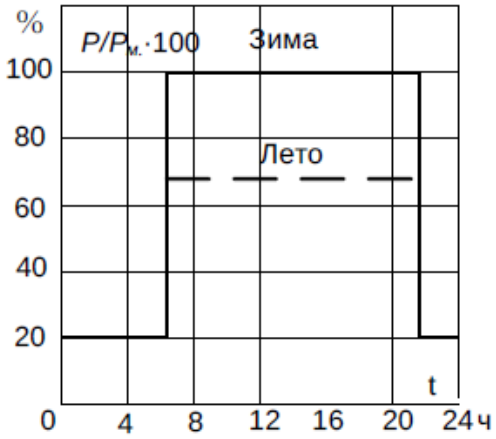


Рисунок 2.9 – Суточные графики нагрузок сетей СН и НН

Задание №9

Выбрать число, тип и номинальную мощность трансформаторов для понижающей подстанции 110/38,5/11 кВ, предназначенной для электроснабжения потребителей 1, 2 категорий.

Максимальная нагрузка длиться 5 ч и составляет: на стороне СН–10 МВт при cosφ = 0,8, на стороне НН–25 МВт при cosφ = 0,9. Предшествовавшая нагрузка составляет 0,7 максимальной.

Контрольные вопросы:

1. Объясните выбор трансформаторов на подстанциях.
2. Что такое систематические перегрузки?
3. Объясните понятие шестиградусное правило
4. От чего зависит процесс старения изоляции?
5. Изложите порядок определения допустимой перегрузки трансформатора по кривым нагрузочной способности в случае двухступенчатого рабочего графика

Практическая работа №3. Аварийные режимы работы электрических систем. Проверка проводников на термическую стойкость при коротких замыканиях.

Цель: Приобрести навык проверки проводников на термическую стойкость при КЗ.

Основы теории:

В отечественной практике степень термического воздействия тока КЗ на проводники и электрические аппараты принято определять по значению интеграла Джоуля:

$$В_{К.} = \int_0^{откл} i_{kt}^2 \, dt.$$

Где $i_{к.t.}$ ток в произвольный момент времени, А; $t_{откл.}$ – расчетная продолжительность КЗ, с; t – время, с.

Без существенной погрешности этот интеграл можно принять равным сумме интегралов от периодической $В_{к\ п.}$ и апериодической $В_{к}$ а. оставляющих тока КЗ, т. е.

$$В_{к.} = В_{к.}\ п. + В_{к.\ а.}.$$

Методика расчета интеграла Джоуля зависит от исходной расчетной схемы электроустановки, положения расчетной точки КЗ и ее удаленности от генераторов, синхронных компенсаторов или электродвигателей.

При этом возможны четыре случая (четыре типа расчетных схем):

1. Если исходная расчетная схема имеет произвольный характер, но для всех генераторов (синхронных компенсаторов) расчетное КЗ является удаленным, т. е. отношение действующего значения периодической составляющей тока любого генератора (синхронного компенсатора) в начальный момент КЗ к его номинальному току не достигает двух, то путем преобразования эквивалентной схемы замещения все источники энергии (генераторы, синхронные компенсаторы и источники более удаленной части системы) следует заменить одним эквивалентным источником, ЭДС которого считать неизменной по амплитуде, а индуктивное сопротивление равным результирующему эквивалентному сопротивлению расчетной схемы. Приэтом интеграл Джоуля определяется по формуле:

$$В_{к.} = I_{п.с.}^2 \left[t_{откл.} + T_{а.г.} \left(1 - exp(-2t_{откл}/T_{а.эк.}) \right) \right],$$

где $I_{п.\ с.}$ – действующее значение периодической составляющей тока КЗ от эквивалентного источника энергии (системы), А; $T_{а.\ эк.}$ – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ от эквивалентного источника:

$$T_{а.\ эк.} = x_{эк.}(R=0)/(\omega R_{эк.}(x=0)),$$

где $x_{эк}$.(R=0) и $R_{эк}$.(x=0) – результирующие эквивалентные сопротивления расчетной схемы, найденные путем учета соответственно только индуктивных и только активных сопротивлений элементов этой схемы.

В тех случаях, когда $t_{откл} \geq 3T_{а.\ эк}$ интеграл Джоуля можно определять по более простой формуле:

$$B_{к.} \approx I_{п.\ с.}(t_{откл.} + T_{а.\ эк.}) .$$

Если исходная расчетная схема содержит один или несколько однотипных генераторов (синхронных компенсаторов), причем последние находятся в одинаковых условиях относительно расчетной точки КЗ (все машины или блоки присоединены к общим шинам), а расчетное КЗ является близким, т. е. начальное действующее значение периодической составляющей тока генератора (синхронного компенсатора) превышает его номинальный ток в два раза и более, то интеграл Джоуля следует вычислять, используя выражение

$$\text{В}_{\text{к}} = I_{\text{п.о.г.}}\left[\text{В}_{\text{к.г.}} t_{\text{откл.}} + T_{\text{а.г.}}\left(1 - \exp(-2t_{\text{откл}}/T_{\text{а.г.}})\right)\right]$$

где $I_{п.о.г.}$ – начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ от генератора (синхронного компенсатора), А; $T_{а.г.}$ – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ от генератора (синхронного компенсатора), с; $B_{к.г.}$ – относительный интеграл Джоуля от генератора,

$$\text{В}_{\text{к.г.}} = \frac{\int_0^{\text{откл.}} I_{n.t.\text{г.}}^2 dt}{I_{\text{п.о.г.}}^2 t_{\text{откл.}}},$$

где $I_{п.\ t.\ г.}$ – действующее значение периодической составляющей тока КЗ от генератора (синхронного компенсатора) в произвольный момент времени, А.

Значения относительного интеграла Джоуля при разных удаленностях расчетной точки КЗ от генератора (синхронного компенсатора) $I_{п.о.г.ном}$ т. е. разных отношениях начального действующего значения периодической составляющей тока машины к ее номинальному току, могут быть определены по кривым (рисунок 3.1).

При $t_{откл} \geq 3T_{а.\ г.}$ приближенно для вычисления интеграла Джоуля можно использовать формулу:

$$\text{В}_{\text{к}} = I_{\text{п.о.г.}}^2(\text{В}_{\text{к.г.}} t_{\text{откл.}} + T_{\text{а.г.}})$$

3. Если исходная расчетная схема содержит произвольное число источников энергии, для которых расчетное КЗ является удаленным, и, кроме того, генератор (синхронный компенсатор), который при КЗ оказывается связанным с точкой КЗ по радиальной схеме и для которого это КЗ является близким, то интеграл Джоуля от периодической составляющей тока КЗ следует рассчитывать по формуле

$$\text{В}_{\text{к.п}} = (I_{\text{п.с.}}^2 + 2I_{\text{п.с.}} I_{\text{п.о.г.}} Q_{\text{к.г.}} + I_{\text{п.о.г.}}^2 \text{В}_{\text{к.г.}}) t_{\text{откл}},$$

где $I_{п.с.}$ – действующее значение периодической составляющей тока КЗ от удаленных источников энергии, А; $Q_{к.г.}$–относительный интеграл от периодической составляющей тока в месте КЗ, обусловленного действием генератора,

$$Q_{\text{к.г.}} = \frac{\int_0^{\text{откл.}} I_{\text{п.}t\text{.г.}} dt}{I_{\text{п.о.г.}} t_{\text{откл.}}}/$$

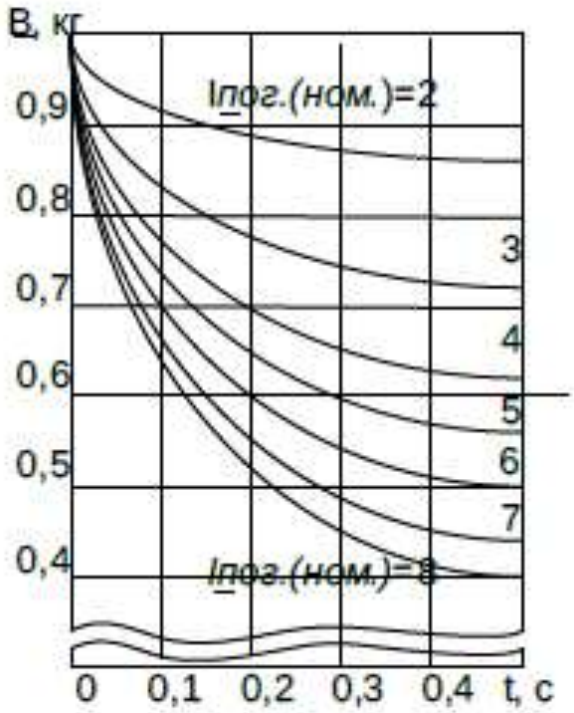


Рисунок 3.1 – Кривые для определения $B_{к.г.}$ от синхронных генераторов с тиристорной системой возбуждения

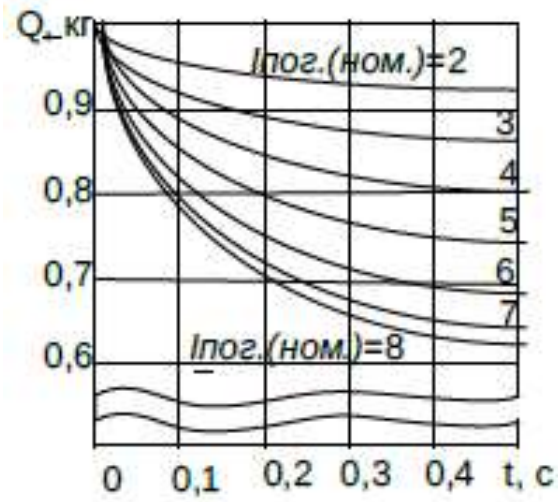


Рисунок 3.2 – Кривые для определения $Q_{к.г.}$ от синхронных генераторов с тиристорной системой возбуждения

Значение относительного интеграла $Q_{к.г.}$ при разных удаленностях расчетной точки КЗ от генератора (синхронного компенсатора) находят по кривым (рисунок 3.2).

Интеграл Джоуля от апериодической составляющей тока КЗ

$$B_{к.п.} = I_{п.с.}^2 T_{а.эк.}\left(1 - \exp(-2t_{откл}/T_{а.г.})\right) + I_{п.о.г.}^2 T_{а.г.}\left(1 - \exp(-2t_{откл}/T_{а.г.})\right) + \frac{4I_{п.с.}I_{п.о.г}}{\frac{1}{T_{а.эк.}} + 1/T_{а.г.}}\left[1 - \exp\left(-t_{откл.}\left(\frac{1}{T_{а.эк.}} + 1/T_{а.г.}\right)\right)\right]$$

Если исходная расчетная схема содержит различные источники энергии, для которых расчетное КЗ является удаленным, и группу однотипных электродвигателей (синхронных или асинхронных), а расчетная точка КЗ находится на шинах, куда подключены электродвигатели, или вблизи этих шин, то при определении интеграла Джоуля все электродвигатели допустимо заменять одним эквивалентным электродвигателем, мощность которого равна сумме номинальных мощностей отдельных электродвигателей.

При этом интеграл Джоуля от апериодической и периодической составляющих следует вычислять, как и в предыдущем случае, согласно (3.2) и (3.3) или (3.3 а). Вместо $I_{п.о.}$ г. и $T_{а.}$ г. необходимо подставлять значения соответствующих величин Iп.о. д. и Та. д. для эквивалентного электродвигателя, вместо $B_{к.г.}$ и $Q_{к.\,г.}$ в (3.2) – значения функций $B_{к.}$ д. и $Q_{к.\,д.}$ электродвигателя. Последние для синхронного электродвигателя могут быть найдены по кривым (рисунок 3.3 и 3.4), а для асинхронного электродвигателя – по кривым (рисунок 3.5 и 3.6).

Проверка электрического аппарата на термическую стойкость при КЗ заключается в сравнении найденного при расчетных условиях значения интеграла Джоуля с его допустимым для данного аппарата значением Втер. Электрический аппарат удовлетворяет условию термической стойкости, если выполняется условие:

$$Вк. \leq Втер.$$

Допустимое значение интеграла Джоуля зависит от соотношения между расчетной продолжительностью КЗ tоткл. и предельно допустимым временем воздействия нормированного тока термической стойкости tтер. норм., указываемым заводом-изготовителем аппарата. Если tоткл. ≥ tтер норм., то

$$B_{тер.} = I_{тер\cdot норм.}^2 t_{тер\cdot норм.}$$

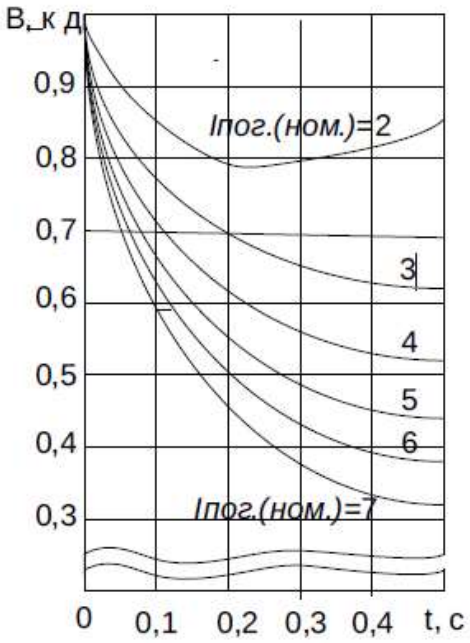


Рисунок 3.3 – Кривые для определения от $B_{к.д.}$ синхронного электродвигателя

Проверка проводников на термическую стойкость при КЗ заключается в определении их температуры нагрева к моменту отключения КЗ и сравнении этой температуры с предельно допустимой температурой нагрева при КЗ. Последняя зависит от вида проводника, его материала и других факторов. Нормированные значения предельно допустимых температур нагрева разных проводников при КЗ приведены в таблице 3.1.

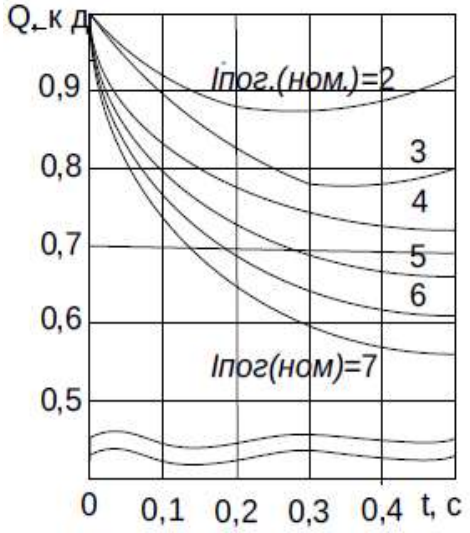


Рисунок 3.4 – Кривые для определения $Q_{к.д.}$ синхронного электродвигателя

Расчет температуры нагрева проводников к моменту отключения КЗ ведут с использованием кривых зависимости этой температуры от функции A_{ϑ} – (рисунок 3.7). Расчет ведут в следующем порядке:

- выбирают кривую, соответствующую материалу проверяемого проводника; по этой кривой, исходя из начальной температуры проводника ϑ_i определяют начальное значение функции $A_{\vartheta.н.}$, А $с^2/мм^2$ $_{.н.}$, А $с^2/мм^4$;
- используя изложенную выше методику, вычисляют значение интеграла Джоуля;
- находят значение функции $A_{\vartheta.ке.}$, соответствующее конечной температуре нагрева проводника $\vartheta_{н.}$;

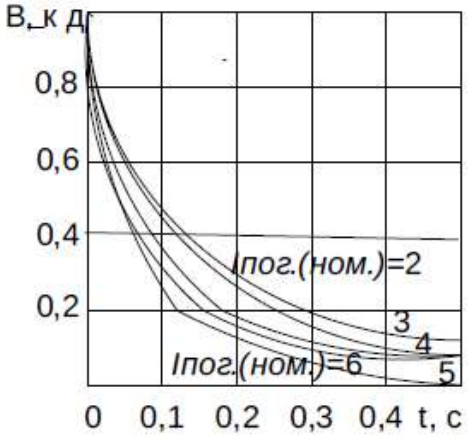


Рисунок 3.5 – Кривые для определения $B_{к.д.}$ от асинхронного электродвигателя

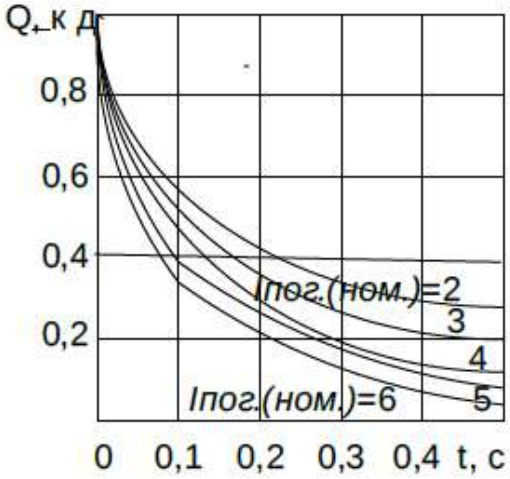


Рисунок 3.6 – Кривые для определения $Q_{к.\ д.}$ от асинхронного электродвигателя

Если при выборе сечения проводника определяющим условием является его термическая стойкость при КЗ, то исходя из этого условия по кривым на рисунке 3.7 находят значение функции $A_{J\ доп.}$, соответствующее предельно допустимой температуре нагрева проводников при КЗ, и определяют минимальное сечение проводника, при котором обеспечивается его термическая стойкость:

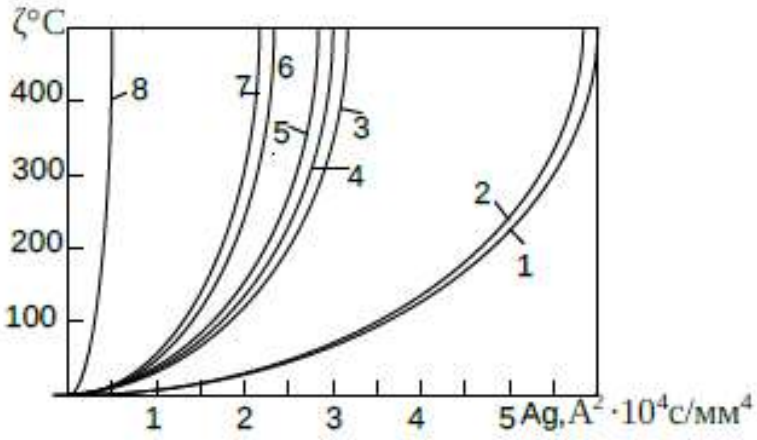


Рисунок 3.7 – Кривые для определения температуры нагрева проводников из различных материалов при КЗ 1 – ММ; 2 – МТ; 3 – АМ; 4 – АТ; 5 – АДО, АСТ; 6 – АД31Т1; 7 – АД31Т; 8 – СтЗ.

Задания:

Задание №1

Проверить, будет ли термически устойчив трансформатор тока, установленный в цепи со следующими значениями тока КЗ (периодическая составляющая): I п.о.=60 кА, $I_п$. 0,2=50 кА, $I_п$. 0,6=40 кА. Постоянная времени затухания апериодического тока $T_а$.=0,07 с. Время отключения КЗ составляет 0,6 с. Трансформатор тока $U_н$.= 6 кВ, $I_н$ =1000 А, односекундная кратность тока термической устойчивости $k_т$ = 80.

Задание №2

Определить конечную температуру медной шины прямоугольного сечения с размерами 40×4 мм^2. Периодическая составляющая тока КЗ не затухает и равна 25 кА. Время отключения КЗ 2,0 с. Постоянная времени апериодического тока *Та* = 0,08 с. До КЗ токовая нагрузка шины составляла 0,7 *Ідоп*. Температура воздуха равна +25 °С.

Задание №3

Проверить трехжильный кабель с бумажной изоляцией, с алюминиевыми жилами сечением 70 мм2 на термическую устойчивость в режиме КЗ. Периодическая составляющая тока КЗ - 7 кА (незатухающая), время отключения КЗ -1,5 с. Температура жилы до КЗ равна 50 °С. Тепловыделением от апериодического тока пренебречь.

Задание №4

Проверить термическую устойчивость шин *I* при КЗ в цепи трансформатора собственных нужд *Тс.н.* мощностью 6,3 МВА (рисунок 3.8).

Условию длительного режима удовлетворяют алюминиевые шины прямоугольного сечения 50·6 мм2. Периодические составляющие тока КЗ на шинах 10,5 кВ станции равны: от системы *Iп.с.*=20 кА (незатухающая), от каждого генератора *Iп.о.г.*=13,5 кА.

Постоянную времени апериодического тока для всех ветвей принять равной 0,07 с; время отключения КЗ- 0,5 с. До КЗ нагрузка шин составляла 65 % допустимого тока. Температура воздуха +25 °С.

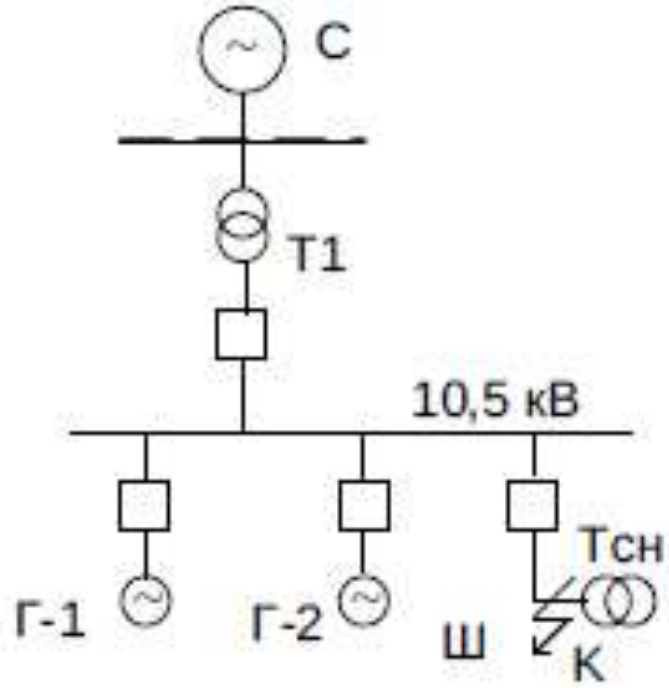


Рисунок 3.8 – Расчетная схема

Задание №5

Определить минимальное стандартное сечение кабеля с алюминиевыми жилами термически устойчивого при КЗ в цепи, где периодическая составляющая тока КЗ не затухает и равна 7,5 кА. Время действия релейной защиты в цепи составляет 1,8 с, а полное время отключения выключателя 0,15 с. Напряжение сети 10 кВ. Нагревом от апериодической составляющей тока КЗ пренебречь.

Задание №6

Определить минимальное сечение термически устойчивой алюминиевой шины в цепи секционного выключателя СВ подстанции (рисунок 3.9). Периодический незатухающий ток КЗ на шинах 10 кВ составляет: при двух включенных трансформаторах 40 кА; при

одном включенном трансформаторе 28 кА. Время отключения КЗ -0,6 с. Постоянная времени апериодического тока 0,07 с. Дополнительно найти, как измениться искомое сечение, если шину выполнить из меди

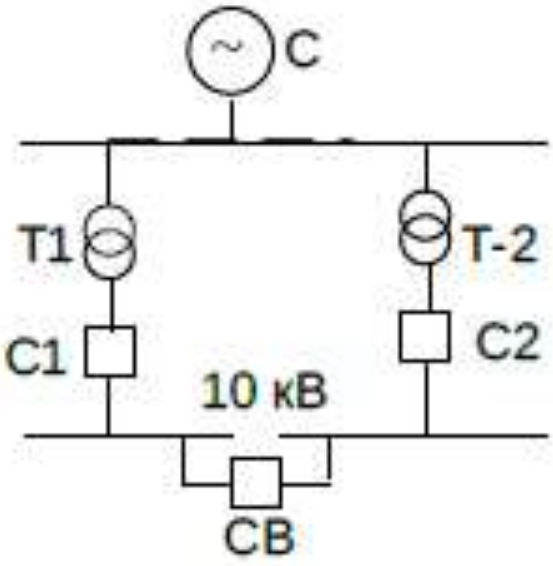


Рисунок 3.9 – Расчетная схема

Задание №7

Определить максимально допустимую продолжительность КЗ в сети из условия обеспечения термической устойчивости кабеля с алюминиевыми жилами сечением 70 мм^2, с бумажной пропитанной изоляцией, если не затухающий периодический ток в цепи равен 8 кА. До короткого замыкания кабель был нагружен длительно допустимым током. Нагревом от апериодической составляющей тока КЗ пренебречь.

Контрольные вопросы:

1. От чего зависит методика расчета интеграла Джоуля?

2. В чем заключается проверка проводников на термическую стойкость при КЗ?

3. Как осуществляется расчет температуры нагрева проводников к моменту отключения КЗ с использованием кривых зависимости температуры от функции A_{ϑ}.?

Практическая работа №4. Короткие замыкания в электроустановках. Электродинамические силы в электроустановках.

Цель: Анализ и расчет электродинамических нагрузок, действующие на шины

Основы теории:

При расчете нагрузок на шины последние считаются достаточно длинными и концевые эффекты не учитываются. Электродинамические нагрузки, действующие на параллельные шины, распределены по длине равномерно.

Для параллельных шин, расположенных в одной плоскости, максимальные значения нагрузок при двух- и трехфазных КЗ наступают примерно через 0,01 с и равны, Н/м,

$$q_{max.} = \alpha i^2/a,$$

Если размеры поперечного сечения шин близки к расстоянию между ними, то при расчете нагрузок следует учитывать коэффициент формы. В этом случае для шинной конструкции при двухфазном КЗ, а также для проводников одной фазы, состоящих из двух элементов, при любом виде КЗ ьнаибольшие нагрузки вычисляются как:

$$q_{max.} = k\phi. \cdot \alpha \cdot i^2_{уд}./a,$$

Для шин, расположенных по вершинам треугольника (в частном случае в одной плоскости), наибольшие нагрузки при трехфазном КЗ находятся согласно по формуле:

$$q_{max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{\alpha} i^2_{уд.} \cdot \xi$$

Таблица 4.1 – Коэффициент максимальной нагрузки

Расположение шин	Фаза	Коэффициент ξ максимальной нагрузки			
		Результирующей	Изгибающей	Растягивающей	Сжимающей
В одной плоскости (рисунок 4.1а)	А,С В	0,93 1,00	0,93 1,00	0,00 0,00	0,00 0,00
По вершинам прямоугольного равнобедренного треугольника	А В С	0,87 0,95 0,95	0,87 0,43 0,93	0,29 0,93 0,14	0,87 0,07 0,43

(рисунок 4.1б)					
По вершинам Равностороннего треугольника (рисунок 4.1в)	A B C	1,00 1,00 1,00	0,94 0,50 0,94	0,25 1,00 0,25	0,75 0,00 0,75
По вершинам Равностороннего треугольника (рисунок 4.1г)	A,B,C	1,00	0,50	1,00	0,00

Задания:

Задание №1

Определить наибольшие результирующие и изгибающие электродинамические нагрузки при трехфазном КЗ, действующие на шины, расположенные в одной плоскости (рисунок 4.1а), а также по вершинам прямоугольного равнобедренного треугольника (рисунок 4.1б) и равностороннего треугольника (рисунок 4.1в). Расстояние между шинами (во всех конструкциях) a = 0,4 м, ударный ток КЗ $i_{уд.}$ = 50 кА.

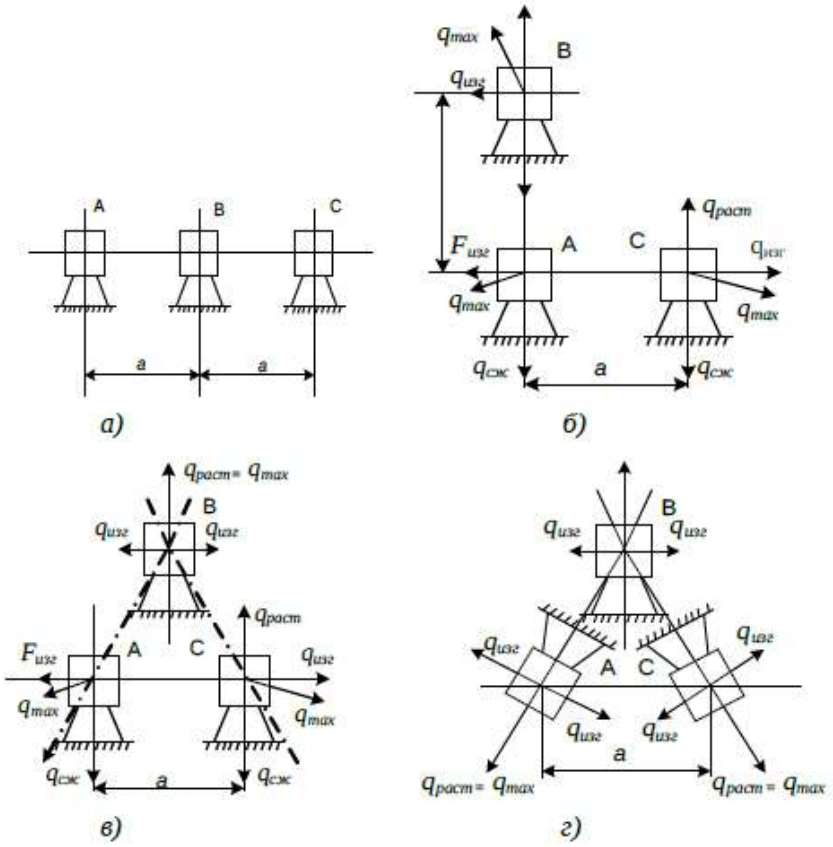


Рисунок 4.1 – Шинные конструкции

Задание №2

Определить наибольшие электродинамические нагрузки на прямоугольные шины, расположенные на ребро, при двухфазном КЗ. Сечение шин 80х8 мм, ударный ток КЗ $i_{уд.}$ = 20 кА, расстояние между осями шин принято 160, 80, 48, 32 и 16 мм.

Контрольные вопросы:

1. Какие принимаются допущения для расчета нагрузок на шины?

2. Как влияет взаимное расположение фаз на электродинамические нагрузки?

3. Как определяются максимальные значения нагрузок при КЗ для:

• Параллельных шин. Через какое время наступает?

• Для шин, расположенных по вершинам равнобедренного прямоугольного треугольника?

• Для шин, расположенных по вершинам равностороннего треугольника?

4. При каком расположении шин электродинамические нагрузки будут минимальны?

5. Как влияют расстояния между фазами на электродинамические нагрузки?

Практическая работа №5. Короткие замыкания в электроустановках. Проверка шинных конструкций на электродинамическую стойкость.

Цель: Приобрести навыки проверки шинных конструкций

Основы теории:

Условия электродинамической стойкости изоляторов и шин и расчетная схема шинной конструкции.

Электродинамической стойкостью шинной конструкции называется свойство конструкции выдерживать без повреждений механические воздействия, создаваемые токами КЗ.

Шинная конструкция считается электродинамически стойкой, если максимальное расчетное напряжение в материале шин $\sigma_{расч.}$ и максимальные расчетные нагрузки на изоляторы $F_{расч}$ не превосходят допустимых значений, т. е.

$$\sigma_{расч.} \leq \sigma_{доп.},$$

$$F_{расч.} \leq F_{доп.}.$$

Согласно ПУЭ (правило устройства электроустановок) допустимое напряжение *σдоп*. принимается равным 70 % временного сопротивления разрыву (предела прочности) материала шин *σв*, т. е.:

$$\sigma доп. = 0{,}7\sigma в..$$

Допустимая нагрузка на изолятор *Fдоп.* принимается равной 60 % от минимальной разрушающей нагрузки *Fразр*. приложенной к головке изолятора, т. е.:

$$Fдоп. = 0{,}6\ Fразр.$$

Для современных опорных (стержневых) изоляторов 6...35 кВ с внутренней заделкой арматуры (рисунок 5.1а*)* расстояние *H* примерно равно высоте изолятора *Hиз.* Для изоляторов 110 кВ (а также некоторых типов изоляторов 10...35 кВ) с внешним креплением арматуры (рисунок 5.1б) опасное сечение проходит по верхней торцевой поверхности опорного фланца, для опорных штыревых изоляторов (рисунок 5.1в) – проходит по плоскости соединения чугунного штыря и фарфорового тела.

В качестве расчетной схемы шины принимают балку, защемленную или шарнирно опертую на опоры (таблица 5.1). Различают следующие основные типы шинных конструкций и соответствующие им расчетные схемы:

Шинные конструкции с разрезными шинами, длина целых (или сварных) участков которых равна длине пролета. Расчетной схемой пролета таких конструкций служит балка

с шарнирным опиранием (схема 1, таблица 5.1). Обычно расчетной схеме 1 отвечают шинные конструкции напряжением 110 кВ и выше.

Шинные конструкции с разрезными шинами, длина которых равна длине двух пролетов. Расчетная схема пролета такой конструкции представляет собой балку с жестким опиранием (защемлением) на одной и шарнирным опиранием на другой опоре (схема 2). Эти конструкции иногда находят применение в РУ 110...220 кВ, реже – до 35 кВ.

Многопролетные конструкции с неразрезными (цельными или сварными) шинами. Средние пролеты ошиновки отвечают расчетной схеме балки с жестким опиранием (защемлением) на обеих опорах (схема 3). Конструкции широко используются в РУ до 35 кВ.

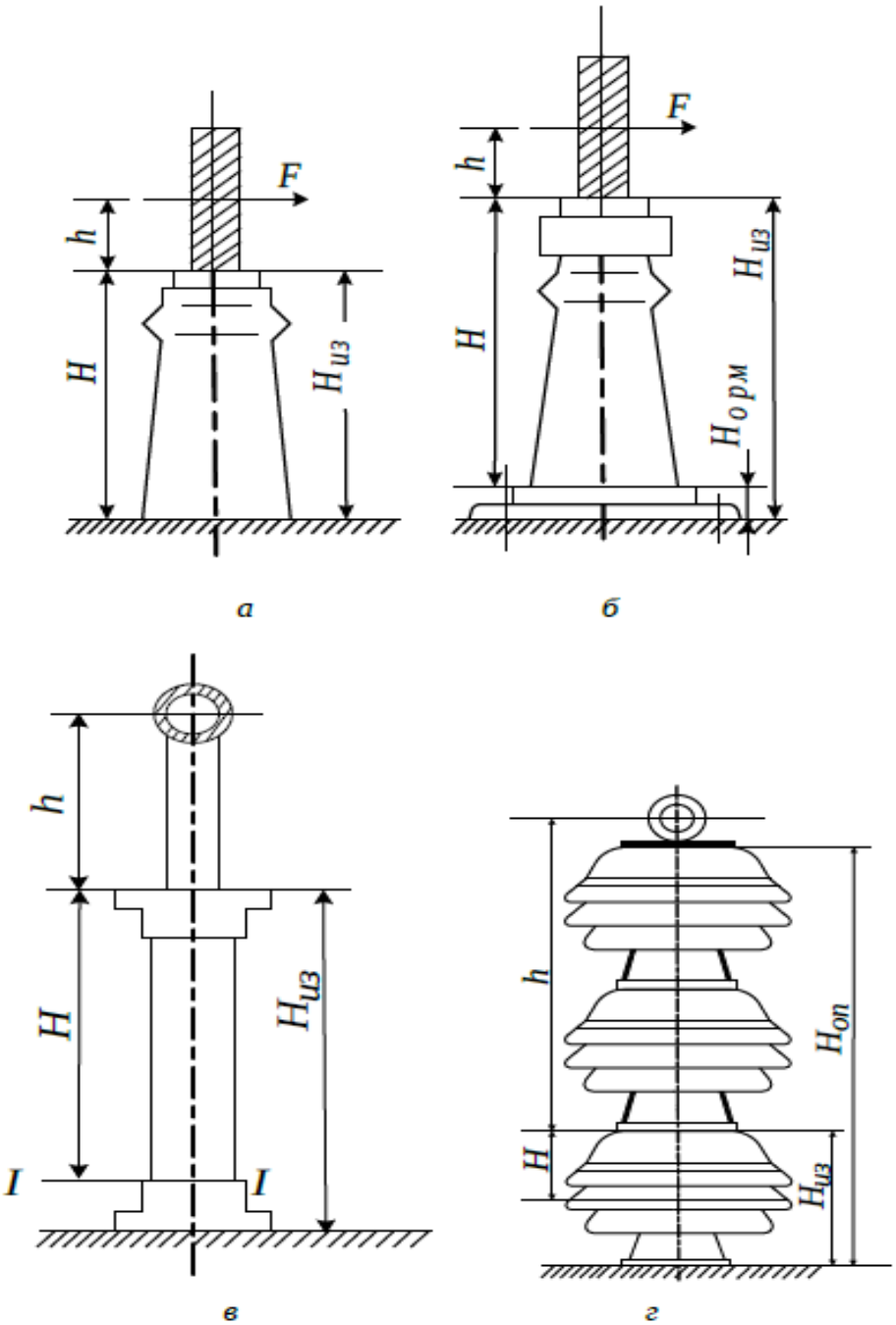


Рисунок 5.1 – К определению допустимых нагрузок на изоляторы

Опоры шин (т. е. изоляторы и основания, на которых они крепятся) в расчетах принимаются упругоподатливыми или абсолютно жесткими. Как правило, опоры можно считать абсолютно жесткими (не участвующими в колебаниях при КЗ) в РУ напряжением до 35 кВ включительно. В РУ напряжением 110 кВ и выше расчет электродинамической стойкости шинных конструкций следует проводить с учетом упругой податливости опор (изоляторов).

Задания:

Задание №1

Проверить на электродинамическую стойкость шинную конструкцию в цепи трансформатора собственных нужд ТЭЦ (рисунок 1.4). Шины расположены водной плоскости, расстояние между фазами, a = 0,7 м; длина пролета шины l=1,2 м. Согласно результатам расчетов (см. практическое занятие 1, задача 4) в цепи трансформатора собственных нужд выбраны алюминиевые шины прямоугольного сечения 100х6 мм. Масса шины m = 1,612 кг/м [1, таблицы 7.2]. Ударный ток КЗ в этой цепи iуд. = 249,1 кА.

Задание №2

Определить марку алюминиевого сплава, из которого изготовлены шины, и тип изолятора шинной конструкции, фазы которой расположены по вершинам прямоугольного равнобедренного треугольника (см. рисунок 5.1б).

Шины имеют полый профиль с каналом квадратного сечения «труба квадратная». Высота стенки шины $h1$ = 60 мм, толщина s = 4 мм. Длина пролета l = 1,5 м; расстояние между фазами a = 0,5 м. Ударный ток КЗ 65 кА. Номинальное напряжение электроустановки – 10 кВ.

Задание №3

Определить количество прокладок в двухполосной шине и марку изоляторов для открытого токопровода в электроустановке 10 кВ.

Шины изготовлены из технического алюминия марки АД0. Сечение одной полосы пакета шины s=$h \cdot b$=100·10=1000 мм2. Фазы токопровода расположены в одной горизонтальной плоскости. Расстояние между фазами a=1,5 м. Полосы пакета установлены на изоляторах плашмя (широкой стороной). Расстояние между осями полос пакета шины $a_{э.}$=2·b=2·10=20 мм. Длина пролета шины l=1,5 м. Ударный ток КЗ $i_{уд.}$ = 50 кА.

Задание №4

Определить наибольшие нагрузки на изоляторы и наибольшие напряжения в материале шин жесткой ошиновки ОРУ 110 кВ при ударном токе КЗ 50 кА.

Вычислить наибольший допустимый ударный ток КЗ по условию электродинамической стойкости этой конструкции для решения вопроса о возможности сохранения установленных изоляторов и шин при расширении распределительного устройства и увеличении уровня токов КЗ. Трубчатые шины кольцевого сечения внешним диаметром D = 90 мм, внутренним – d = 80 мм изготовлены из алюминиевого сплава марки 1915Т (модуль упругости E = 7,1·1010 Па, плотность δ = 2770 кг/м3). Конструкция смонтирована из разрезных шин. Длина целого участка равна длине пролета l= 9 м. Фазы расположены в одной (горизонтальной) плоскости. Расстояние между осями шин смежных фаз a = 1,4 м. Шины установлены на изоляционных опорах (колоннах), собранных из трех опорно-штыревых изоляторов типа ОНШ-35-2000 УХЛ1 (см. рисунок 3.1г). Разрушающая нагрузка изолятора *Rразр.* = 20 000 Н. Масса опоры *Mоп.* =134 кг. Высота каждого изолятора *Rиз.* = 400 мм, высота всей опоры *Hоп.*=1200 мм.

Задание №5

Проверить электродинамическую устойчивость алюминиевых прямоугольных шин сечением 80 8 мм2. Шины закреплены на изоляторах плашмя, расстояние между осями фаз a =70 см, пролёт между изоляторами l=120 см. Начальный периодический ток трёхфазного КЗ составляет 40 кА; постоянная времени затухания апериодического тока *Ta.* = 0,05 с.

Задание №6

Проверить электродинамическую устойчивость шинной конструкции, выполненной в виде двухполосного пакета из алюминиевых шин сечением 100x8 мм^2. Расстояние между фазами a =70 см, пролёт между изоляторами l=120 см, Расстояние между прокладками *ln.* =40 см (см. рисунок 5.2). Ударный ток КЗ в цепи составляет 75 кА.

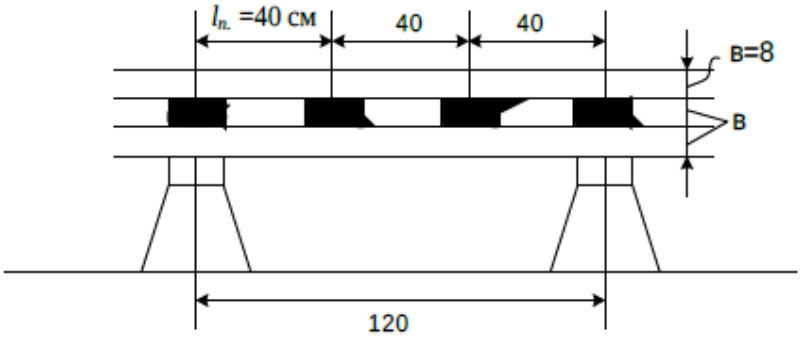


Рисунок 5.2 – Шинная конструкция

Задание №7

Найти максимально допустимое расстояние между прокладками l_n. двухполосного пакета из медных шин сечением 100 10 мм2 (расположение шин на рисунке 5.3). Пролёт между изоляторами равен 140 см. Начальный периодический ток трёхфазного КЗ составляет 50 кА. Постоянная времени затухания апериодического тока Та.= 0,08 с.

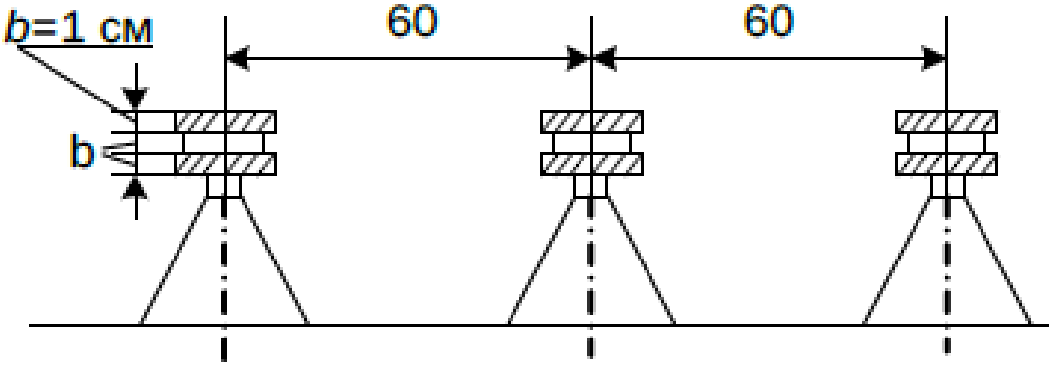


Рисунок 5.3 – К расчету задачи 7

Контрольные вопросы:

1. Что называется, электродинамической стойкостью шинных конструкций?

2. Какая шинная конструкция называется электродинамически стойкой?

3. Перечислите основные типы шинных конструкций и соответствующие им расчетные схемы?

4. Каков порядок расчета электродинамической стойкости изоляторов и шин, расположенных в одной плоскости?

5. Каков порядок расчета составных шин?

6. Каков порядок расчета шин, фазы которых расположены по вершинам треугольника?

7. Каков порядок расчета шин с упругоподатливыми опорами?

Практическая работа №6. Электрические аппараты и токоведущие части. Выбор выключателей.

Цель: Приобрести навык расчета и выбора выключателей

Основы теории:

Для защиты электрических сетей и электрооборудования до 1 кВ от ненормальных режимов применяют автоматические выключатели, плавкие предохранители и различные комбинированные аппараты.

Предохранители дешевле и проще в эксплуатации, чем автоматы, но автоматические выключатели по сравнению с предохранителями имеют ряд преимуществ: при перегрузках и КЗ отключают все фазы защищаемой сети и исключают неониофазные режимы; уменьшают длительность простоя электроустановок; более безопасны в обслуживании.

Автоматы применяют при использовании средств и устройств автоматики и в случаях необходимости автоматического или дистанционного управления, быстрого восстановления напряжения и при частых аварийных отключениях.

В других случаях рекомендуется применять инерционные и безинерционные предохранители, при этом инерционность предохранителя выбирается в зависимости от характера нагрузки. Для исключения наполиофазных режимов применяют предохранители с блок-контактном в сочетании с пускателями или контакторами. Перспективны полупроводниковые (электронные) защитно-коммутационные и пускорегулирующие устройства: тиристорные выключатели, пускатели, станции управления и т.п.

Если для защиты электрических сетей и электрооборудования выбраны автоматические выключатели, то на ответвлениях от распределительных устройств и минопроводов рекомендуется применять установочные автоматы на номинальные токи до 630 А. Автоматы подстанционные устанавливаются на трансформаторных и преобразовательных подстанциях при токах выше 400 А.

При относительно больших токах КЗ рекомендуется применять блок «автоматический выключатель-предохранитель». В этом случае предохранители отключают токи КЗ, близкие по величине к одноразовой предельной коммутационной способности автомата.

Меньшие токи КЗ отключаются автоматическим выключателем.

Согласно требованиям правил устройств электроустановок (ПУЭ) кроме защиты от КЗ все низковольтные сети должны быть защищены от перегрузки. К ним относят:

а) сети, выполненные открыто проложенным кабелем внутри любых помещений;

б) осветительные сети, независимо от способа прокладки проводов и кабелей;

в) силовые сети промышленных предприятий;

г) сети во взрывоопасных помещениях.

В целом условия согласования характеристик аппаратов защиты (предохранителей и автоматов) с сечениями проводов и кабелей защищаемых сетей, можно обобщить в виде:

$$I_a \cdot K_з \le I_g,$$

где I_a - номинальный ток или ток срабатывания аппарата защиты, А; $K_з$ - кратность допустимого длительного тока по отношению к номинальному току (или току срабатывания) аппарат защиты, %.

Значение $K_з$ нормируются ПУЭ в зависимости от условий окружающей среды, типа аппарата защиты, изоляции проводов и кабелей. Таким образом, выбор предохранителей и автоматов для защиты сетей напряжени5ем до 1 кВ тесно связан с выбором сетей проводов и кабелей.

Задания:

Задание №1

Для приведенной электрической схемы ТЭЦ (рисунок 1.4 часть 1) мощностью 2·110 МВт выбрать выключатели в следующих присоединениях:

1) для РУ10 кВ – трансформатора СН ТСН 1;

2) генератора G1;

Начальные периодические токи КЗ на шинах 220 кВ (точка К1), шинах 10 кВ (точка К2) и за линейным реактором (точка К3). Результаты расчетов токов КЗ и постоянной времени *Та*. приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Расчет токов КЗ и постоянной времени *Та*

Наименование ветви		Точка КЗ	$I_{п.о.}$ кА	*Та*
РУ220 кВ		К1	4,8	0,028
РУ 10 кВ	От G1		4,5	0,41
	От системы и G2	К2	44,8	0,13
	Кабельная линия с реактором РБ10-1000-0,35	К3	15,6	0,185

Задание №2

По условию задачи 1 выбрать выключатель в присоединении кабельной линии.

Задание №3

По условию задачи 1 выбрать выключатель в присоединении для РУ220 кВ.

Задание №4

Проверить на термическую устойчивость выключатель В в цепи трансформатора связи (см. рисунок 6.1). Периодическая составляющая тока при КЗ в точке К составляет: от системы Iп.с. = 7,8 кА (незатухающий ток); от каждого генератора Iп.о = 6,3 кА, Iп.о.1 = 4,6 кА, Iп.о.4 = 3,8 кА. Постоянные времени апериодического тока: для системы Та.с. = 0,05 с, для генератора Та.г. = 0,1 с. Время отключения КЗ – 0,4 с. Ток термической устойчивости выключателя (десятисекундный) 10кА.

Задание №5

Выбрать автоматический выключатель для защиты линии 0,38 кВ, присоединённой к ТП–10/0,4 кВ мощностью 160 кВА. Максимальная нагрузка линии *Iр.max.* = 90 А. К линии подключён электродвигатель с *Iн. д.* = 25 А и кратностью пускового тока *Кп.* = 7, остальная нагрузка – освещение и электронагрев. Номинальная мощность самого крупного потребителя – 35 А.

При расчёте токов КЗ получены результаты: *I(3) k.max.* = 1400 А; *I(3) k.n.* = 560 А; *I(2) k.min.* = 280 А; *I(1)k.min.* = 200 А.

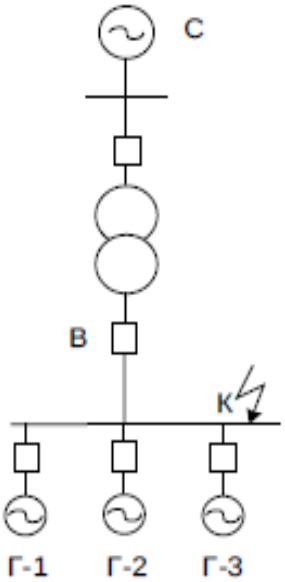


Рисунок 6.1 – К расчету задачи 4

Контрольные вопросы:

1. Каково назначение выключателя?

2. По каким условиям выбирают выключатель?

3. Каковы условия проверки выключателя по включающей способности?

4. Каковы условия проверки выключателя на симметричный ток?

5. По каким соотношениям определяется возможность отключения апериодической составляющей тока КЗ?

6. Что значит собственное время отключения выключателя. Как определяется?

7. От чего и каким образом зависят условия проверки выключателя на термическую стойкость?

8. Как и какие выключатели проверяются по параметрам восстанавливающегося напряжения?

Практическая работа № 7. Электрические аппараты и токоведущие части. Выбор разъединителей.

Цель: Прибрести навык расчета и выбора разъединителей.

Основы теории:

Разъединители являются простейшими коммутационными аппаратами. Они предназначены в основном для разъединения отключенных частей электроустановок с целью создания видимого разрыва для обеспечения безопасности при ремонтных работах. Разъединители можно использовать также для отключения и выключения некоторых электрических цепей с током. Из-за малой отключающей способности разъединители (у них нет дугогасительных устройств) могут отключать только небольшие токи. Разъединители могут снабжаться дополнительными заземляющими ножами. Главными и заземляющими ножами управляют обычно при помощи ручных (рычажных) приводов.

Для внутренних электроустановок напряжением 10 кВ наиболее часто используют разъединители типа РВ-10.

Разъединители для наружной установки должны иметь изоляцию, рассчитанную для работы в неблагоприятных условиях окружающей среды (загрязнения, влага, снег), а также обладать повышенной механической прочностью в связи с возможностью образования гололеда на контактах.

Задания:

Задание №1

Выбрать разъединитель на участке электроустановки, указанном в таблицах 7.1 , 7.2 и на рисунке 7.1.

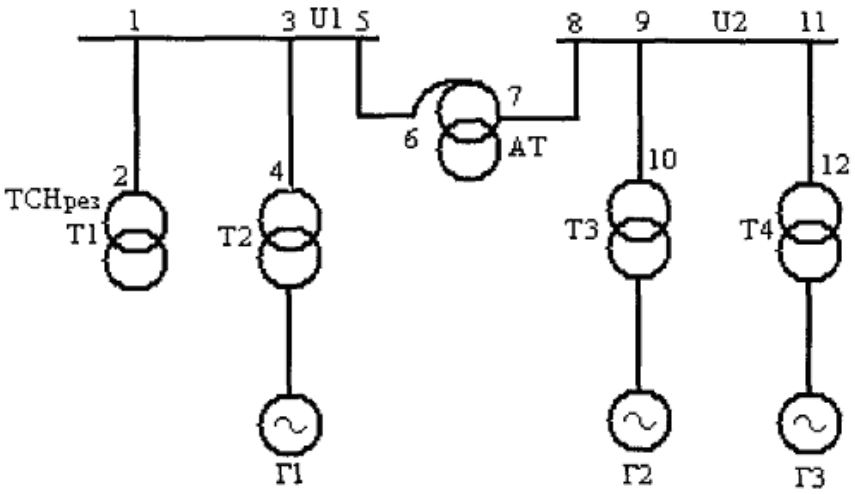


Рисунок 7.1 – Расчетная схема

Таблица 7.1 – Технические данные электроустановки

ВАРИАНТ		1	2	3	4	5
Шины, выключатели, разъединители, участок		1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
Напряжение, кВ	U_1 U_2	220 330	220 500	220 500	110 220	110 220
Мощность генераторов, МВА	*Г1* *Г2* *Г3*	--- --- 353	--- --- ---	253 --- ---	117,5 253 253	117,5 253 253
Мощность трансформаторов, МВА	*Т1* *Т2* *Т3* *Т4*	--- --- 400 ---	40 --- --- ---	--- 250 --- ---	32 125 250 250	32 125 250 400
Мощность автотрансформатора	*АТ*	---	---	---	250	250
Токи КЗ на выбранном участке, кА	i'' i_y $i_{n.t}$ $i_{a.t}$	9,5 26 7,8 7	11 30,2 9,8 10	11 30,2 9,8 10	12,8 35 10,1 11	10,2 27,9 8,3 9,1
Время действия защиты, с	t_d	0,1	0,25	0,2	0,25	0,2
Время отключения выключателей, с	$t_{откл}$	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Расстояние между фазами, м	*L*	7	5	5	3	5

Таблица 7.2 – Технические данные электроустановки

ВАРИАНТ		6	7	8	9	10
Шины, выключатели, разъединители, участок		1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
Напряжение, кВ	U_1 U_2	110 220	110 230	110 220	110 220	110 220
Мощность генераторов, МВА	*Г1* *Г2*	--- ---	117,5 ---	--- ---	--- ---	--- ---

Мощность трансформаторов, МВА	*T1* *T2* *T3*	32 32 ---	125 125 ---	--- ---	--- ---	32 ---
Мощность автотрансформатора	*AT*	---	---	125	250	---
Токи КЗ на выбранном участке, кА	i'' i_y $i_{n.t}$ $i_{a.t}$	12,5 34 9,6 10,2	12,5 34 9,6 10,2	10 31,6 8,5 9,0	10,2 27,9 8,3 9,1	12,5 34 9,6 10,2
Время действия защиты, с	t_d	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
Время отключения выключателей, с	$t_{откл}$	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Расстояние между фазами, м	*L*	3	3	3	5	3

Задание №2

Проверить электродинамическую устойчивость разъединителя Р1 в цепи трансформатора связи (см. рисунок 7.2). Начальное значение периодической составляющей тока трех фазного КЗ в точке К равны: от системы 8,5 кА, от каждого генератора по 7 кА. Постоянные времени затухания апериодического тока: для системы Та.с. = 0,05 с, для генератора Та.г.=0,1с. Номинальный ток электродинамической устойчивости разъединителя составляет 80 кА.

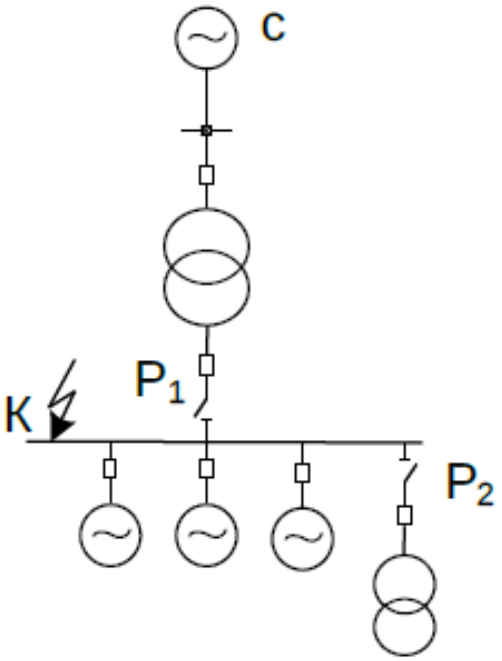


Рисунок 7.2 – Расчетная схема

Задание №3

Определить каким номинальным током электродинамической устойчивости должен обладать разъединитель Р2 в схеме на рисунке 7.2 приданных задачи 2.

Контрольные вопросы:

1. По каким условиям выбирают разъединители?
2. При помощи каких приводов можно управлять разъединителями?
3. Объясните конструкцию разъединителей типа РВ-10/400, РЛНДА-1-10, РЛНД-35.
4. Каково назначение разъединителей?
5. Какие требования предъявляются к конструкциям разъединителя?
6. В чем состоит назначение заземляющих ножей?
7. В чем состоит отличие выключателя от разъединителя?

Практическая работа № 8. Электрические аппараты и токоведущие части. Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжений.

Цель: Приобрести навык выбора измерительных трансформаторов тока и напряжений.

Основы теории:

Выбор измерительных трансформаторов тока (ТТ) проводят по следующим условиям:

$$U_{ном.} \geq U_{сети\ ном.};\ I_{1ном.} \geq I_{норм.\ расч.};$$

$$k_{п.} \cdot I_{ном.} \geq I_{прод.\ раусч.} = I_{раб.\ нб.};\ i_{дин.} \geq i_{уд.}$$

$$\sqrt{2} \cdot I_{1ном.} \cdot k_{дин.} \geq i_{уд.};$$

$$I^2_{тер.}\ t_{тер.} \geq B_{к.}$$

$$(I_{1ном.}\ k_{тер.})^2 \cdot t_{тер.} \geq B_{k.};$$

При выборе номинального первичного тока $I_{ном.}$ следует учитывать возможность перегрузки некоторых типов трансформаторов тока на 10–20 %, что оговорено в каталогах на трансформаторы тока.

Значение номинального вторичного тока унифицировано и равно 5 А (реже 1 и 10 А).

Класс точности измерительного ТТ выбирают в соответствии с его назначением. Если к ТТ подключаются расчетные счетчики электроэнергии, то класс точности его работы должен быть не ниже 0,5. Если подключаются только щитовые электроизмерительные показывающие приборы, то достаточен класс точности 1, а иногда (амперметр в цепи секционного или шиносоединительного выключателя) можно применить трансформатор тока с классом точности 3.

Для того чтобы ТТ работал в выбранном классе точности, нагрузка его вторичной цепи не должна превышать номинальную, т. е. при $I_{2ном.}$ = 5 А нагрузка вторичной цепи:

$$S_2 \approx I^2_{2ном.} \cdot Z_2 \approx 25 \cdot Z_2 \leq S_{2ном.}.$$

Расчетная нагрузка трансформатора тока ($Z_{2расч.}$) складывается из нагрузки измерительных приборов и потерь мощности в проводах и контактах. Суммарное сопротивление катушек приборов, последовательно включенных во вторичную цепь трансформатора тока ($Z_{\Sigma приб.}$), подсчитывают в соответствии со схемой их включения и распределения по фазам. При составлении трехлинейной схемы включения измерительных приборов необходимо учитывать схему внутренних соединений приборов.

Сопротивление проводов вторичной цепи зависит от длины трасс прокладки проводов *lтр.*, сечения проводов *s* и схемы соединения трансформаторов тока.

При выборе материала проводов (с медными или алюминиевыми жилами) необходимо учитывать, что контрольные кабели с медными жилами (ρ = 0,0175 Ом·мм^2/м), применяют во вторичных цепях мощных электростанций с высшим напряжением 220 кВ и выше. Во вторичных цепях остальных электроустановок используют кабели с алюминиевыми жилами (ρ = 0,028 Ом·мм^2 /м).

Сечения проводников выбирают в соответствии с требованиями точности измерения. При этом руководствуются следующим.

1. Провод должен удовлетворять требованиям механической прочности, поэтому при наличии в цепи расчетных счетчиков сечение медных проводов должно быть не менее 2,5 мм^2, а алюминиевых – не менее 4 мм^2; для цепей с измерительными приборами (без счетчиков) медные провода должны иметь сечение не менее 1,5 мм^2, а алюминиевые – не менее 2,5 мм^2.

2. Сечение провода должно быть взято больше минимального, удовлетворяющего требованию механической прочности (сечение больше 6 мм^2 не применяется). Стандартные сечения жил контрольных кабелей: 1,5; 2,5; 4; 6 мм^2.

Из условия допустимой нагрузки на ТТ для обеспечения его работы в выбранном классе точности следует, что сопротивление провода

$$Z_{пров.} \leq Z_{2ном.} - Z_{\sum приб} - Z_{конт.},$$

$$s = \rho\, l_{расч.} / r_{пров.},$$

где *p* – удельное сопротивление материала провода; $l_{расч.}$ – расчетная длина провода, зависящая от схемы соединения трансформаторов тока (рисунок 8.1).

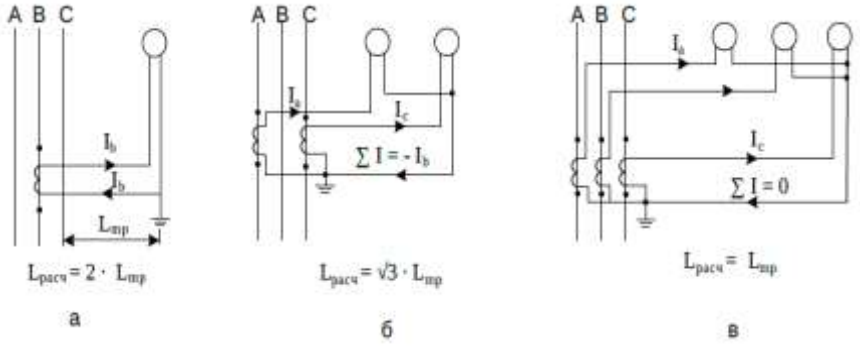


Рисунок 8.1 – Схемы соединения трансформаторов тока и измерительных приборов: а – включение приборов в одну фазу, б – включение приборов в неполную звезду, в – включение приборов в звезду

Длина соединительных проводов от трансформатора тока до приборов (в один конец) *lтр.* (длина трассы) должна быть известна из проекта распределительного устройства и щита управления. Ориентировочно *lтр.*, м, (для одной цепи в один конец) составляет:

Задания:

Задание №1

Определить сечение медных соединительных проводов вторичной цепи (ТТ), установленных на вводе 10 кВ в РУ подстанции по схеме, приведенной на рисунке 8.2. Трансформаторы тока должны иметь класс точности 0,5. Расстояние между трансформаторами тока, установленными в РУ 10 кВ, и щитом, на котором установлены приборы, 20м (по трассе). Сопротивление переходных контактов принимаем 0,1Ом.

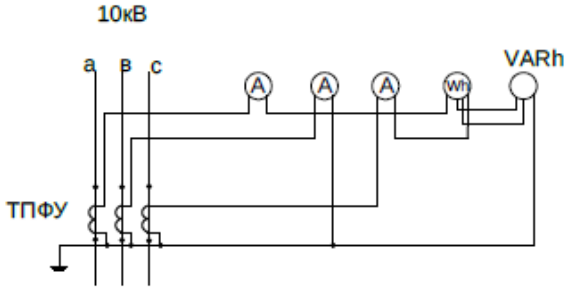


Рисунок 8.2 – Схема включения измерительных приборов

Задание №2

Выбрать трансформатор напряжения, к которому подключены измерительные приборы по схеме рисунок 8.3, если он должен работать в классе точности 0,5. Напряжение сети 6 кВ.

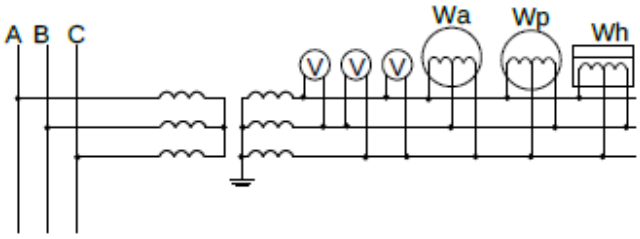


Рисунок 8.3 – Схема включения приборов

Задание №3

Выбрать трансформатор напряжения на сборных шинах подстанции. Подстанция с постоянным дежурством персонала. Установленная мощность трансформаторов 2х40 МВ А.

Задание №4

Выбрать трансформатор тока и напряжения для присоединения измерительных приборов в цепи генератора ТВФ-63-2, включенного на сборные шины 10,5 кВ. Использовать схему на рисунке 8.4.

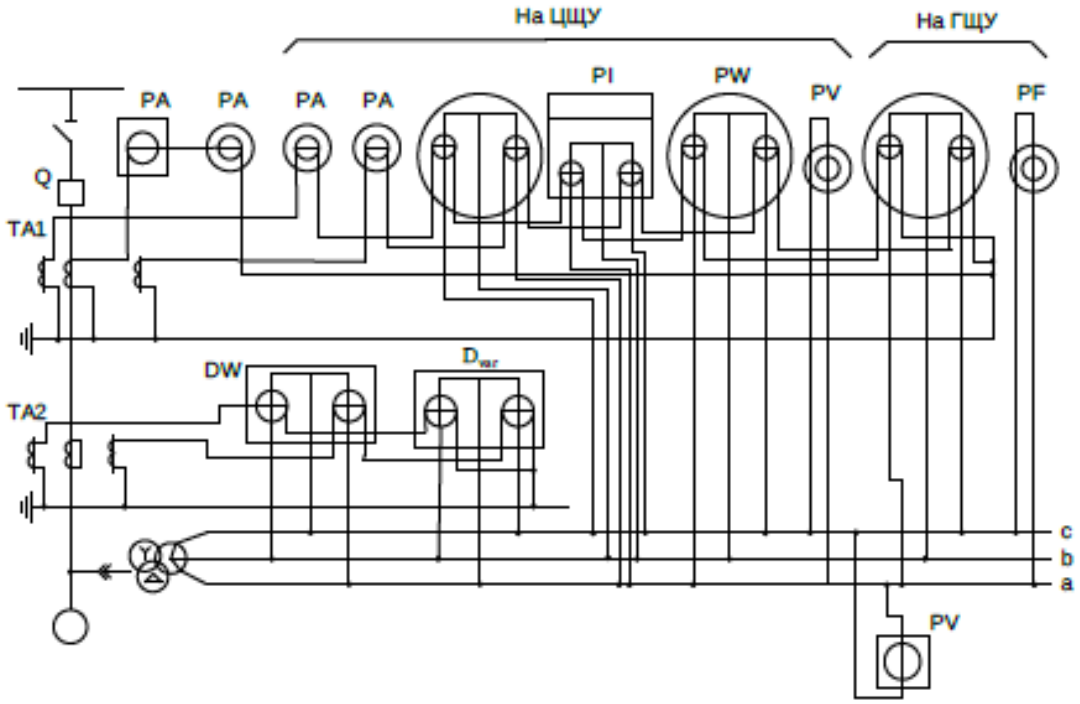


Рисунок 8.4 – Схема включения измерительных приборов генератора

Контрольные вопросы:

1. Как изменяется погрешность трансформаторов тока и напряжения при увеличении длины контрольного кабеля, соединяющего их с измерительными приборами?

2. Для какой цели применяются измерительные преобразователи (датчики)?

3. В чём заключается преимущество избирательного измерения (измерения по «вызову») перед индивидуальным измерением?

4. Как выбираются трансформаторы тока и напряжения для присоединения к сборным шинам 10,5 кВ?

5. Как проверяют трансформатор тока и напряжения по вторичной нагрузке?

6. Как выбирается класс точности измерительного прибора?

7. Какие схемы соединения ТТ бывают?

8. Как выбирают сечение проводников?

9. В чём заключается особенности режима работы и конструкции ТТ и ТН?

10. Назовите основные типы трансформатора тока и напряжения?

Практическая работа № 9. Электрические аппараты и токоведущие части. Выбор токоограничивающих реакторов.

Цель: Приобрести навык выбора токоограничивающих реакторов

Основы теории:

Ограничение токов КЗ в различных узлах электроэнергетической системы важно для ограничения последствий аварий, для снижения стоимости аппаратуры и проводников распределительных устройств.

Физическая суть методов ограничения токов КЗ заключается в использовании дополнительного сопротивления в цепи тока КЗ, необходимое значение которого заранее может быть рассчитано.

Введение дополнительного сопротивления в цепь тока КЗ осуществляется либо установкой специальных аппаратов – токоограничивающих реакторов, либо созданием искусственно удлиненного пути для токов КЗ. Естественно, что установка реакторов требует дополнительных затрат. Далее будет показано, что установка реакторов в ряде случаев не всегда эффективна. Поэтому выбор средств ограничения токов КЗ окончательно решается лишь технико-экономическим сопоставлением вариантов.

При сравнении способов ограничения токов КЗ важно правильно выбрать место установки дополнительного сопротивления. В идеальном случае пути циркуляции токов нормального режима и КЗ не совпадают, и добавочное сопротивление ограничивает только токи КЗ (например, секционный реактор ГРУ 10 кВ ТЭЦ). Но в реальных условиях часто через дополнительное сопротивление также протекают токи неаварийных режимов, что сопровождается дополнительными потерями напряжения (линейные реакторы, реакторы в цепи трансформаторов связи подстанций и др.).

Поэтому часто применяют устройства, обеспечивающие меньшие потери напряжения в нормальном режиме (сдвоенные реакторы, трансформаторы с расщепленными обмотками низшего напряжения), но достаточно большое сопротивление для эффективного ограничения токов КЗ.

В ряде случаев дополнительное сопротивление в цепи тока КЗ удается создать из существующих элементов сети путем:

• отключения секционного выключателя РУ 10 кВ ПС;

• отключения при КЗ секционного выключателя ГРУ 10 кВ ТЭЦ;

• отключения шиносоединительного выключателя (ШСВ) при двойной системе шин ОРУ 110-220 кВ с фиксированными присоединениями;

• отключения секционного выключателя системы сборных шин ОРУ ПО-220 кВ;

• создания удлиненного пути токов КЗ через сеть 110–220 кВ и др.

Перенос поперечных связей между генераторами на более высокое напряжение также приводит к снижению токов КЗ. При тех же условиях на напряжении 6 кВ поперечные связи неосуществимы.

Установка секционных реакторов на стороне низшего напряжения на ПС малоэффективна. Типовым является применение раздельной работы секций на среднем и низшем напряжениях и введение на низшем напряжении дополнительных сопротивлений в цепь тока КЗ, последовательно с обмотками трансформаторов (реакторов, линейных регулировочных трансформаторов). Для схем ПС характерно совпадение путей токов КЗ и токов нормальных режимов. Это послужило причиной широкого использования сдвоенных реакторов в цепях трансформаторов, имеющих в нормальном режиме сниженные потери напряжения в сравнении с одинарными реакторами.

Задания:

Задание №1

Определить напряжение (в процентах от номинального напряжения реактора) на выводах разомкнутой ветви сдвоенного реактора, когда по другой ветви протекает:

а) ток, равный длительному номинальному току реактора при cosφ = 0,8;

б) ток короткого замыкания (при повреждении непосредственно за реактором).

Тип реактора РБАС-10-2х600-6, коэффициент связи 0,5, напряжение на шинах питания принять неизменным и равным 10,5 кВ.

Задание №2

Определить, при каком значении коэффициента связи напряжение на разомкнутой ветви сдвоенного реактора при коротком замыкании на выводах другой ветви не превосходит допустимой величины, равной 1,5 от номинального напряжения реактора. Напряжение на шинах питания принять неизменным и равным 1,05 от номинального напряжения реактора.

Задание №3

При неизменной токовой паузе в плече 2 сдвоенного реактора, равной номинальной при cosφ = 0,8, определить потери напряжения в обеих ветвях для следующих вариантов токовой нагрузки плеча 1:

а) $I1 = Iн.$ при $cos\varphi = 0,8$;

б) $I1 = 0{,}5 \cdot I_{н.}$ при $\cos\varphi = 0{,}9$;

в) $I1 = 0$;

коэффициент связи равен 0,6.

Нарисовать графики $\Delta U1\ \% = f(I1/\ I_{н.})$ и $\Delta U2\% = f(I1/\ I_{н.})$ и пояснить характер их изменения.

Задание №4

Дан реактор типа РБАС-6-2х1000-8. Расшифровать марку реактора и вычислить его сопротивление (в процентах) в режимах сквозной, одноцепной и продольной токовых нагрузок. Коэффициент связи равен 0,46.

Задание №5

Ток короткого замыкания у потребителя предполагается ограничить с помощью линейных групповых сдвоенных реакторов типа РБАС-10 до величины 13,5 кА. Определить параметры реактора при максимально возможном числе линии, подключаемых к его сборкам, исходя из того, что потеря напряжения в реакторе в форсированном режиме не должна превышать 4 %.

Напряжение источника питания считать неизменным и равным 1,05 от номинального напряжения реактора, сопротивлением питающих кабелей пренебречь. Коэффициент мощности – 0,85, рабочий ток форсированного режима линии – 250 А. Коэффициент связи сдвоенного реактора принять 0,5.

Задание №6

Выявить целесообразность установки секционного реактора (СР) LR1 в ГРУ 10 кВ ТЭЦ с генераторами типа ТВФ-63-2ЕУЗ (рисунок 9.1).

Исходные данные:

Генераторов: $P_{ном.}$ = 63 МВт; $U_{ном.}$ = 10,5 кВ; $\cos\varphi = 0{,}8$; $T_{a.}$ = 0,247 с; $X_{d.ном.}$= 0,136.

трансформаторов связи:

$S_{ном.}$ = 32 МВ·А , n = 115/11 кВ, $U_{k.}$ = 10,5 %.

системы: $S_{к.}$ = 5000 МВА; линий: l = 30 км, $X_{уд.}$ = 0,4 Ом/км;

нагрузок: $P_{нг.1} = P_{нг.2}$ = 35 МВт, $\cos\varphi_{нг.}$ = 0,87.

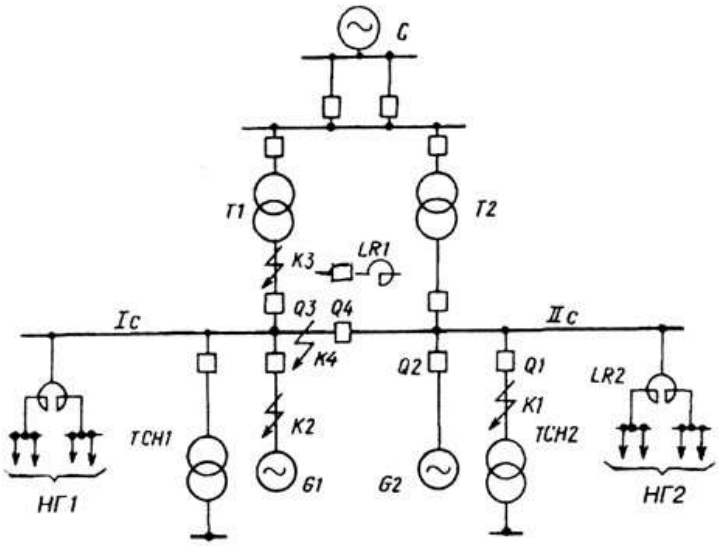


Рисунок 9.1 – Принципиальная схема ТЭЦ

Суточные графики нагрузки приведены на рисунке 9.2

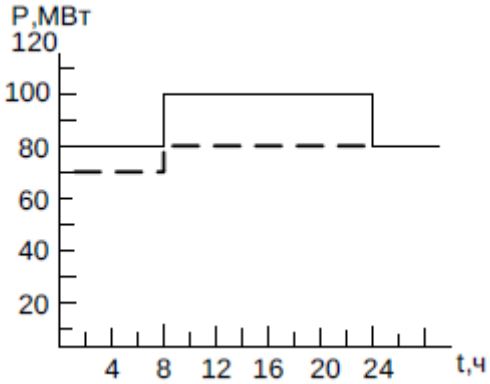


Рисунок 9.2 – Суточные графики выработки генераторами

Каждый способ ограничения токов КЗ наиболее эффективен для определенного уровня мощностей, распределяемых в узле данного напряжения. Рассмотрим вариант с установкой в ГРУ 10 кВ ТЭЦ секционного реактора.

Задание №7

Выявить эффективность и целесообразность установки СР LR1 в ГРУ 10 кВ ТЭЦ с агрегатами 2х110 МВт (см. рисунок 9.1). Исходные данные: генераторов типа ТВФ-110-2ЕУЗ: *Рном.* = 110 МВт, *U ном.* = 10,5 кВ, *Iном..* =7,56 кА, *cos φном..* = 0,8, *x"d. (ном..)* = 0,189, *Та..* = 0,41 с. Трансформаторы типа ТРДН-80000/110: *Sном.*=80 МВА, *n* = 115/10,5 кВ, *Uк.* = 10,5 %; системы: *Sk.* = 5000 МВА; линий*: l* = 60 км, *Худ.* = 0,4 Ом/км; нагрузок 10

кВ: *Р*нг.= *Р*нг*2* = 35 МВт, *cos φн.г.* = 0,87. Суточные графики нагрузки приведены на рисунке 9.3.

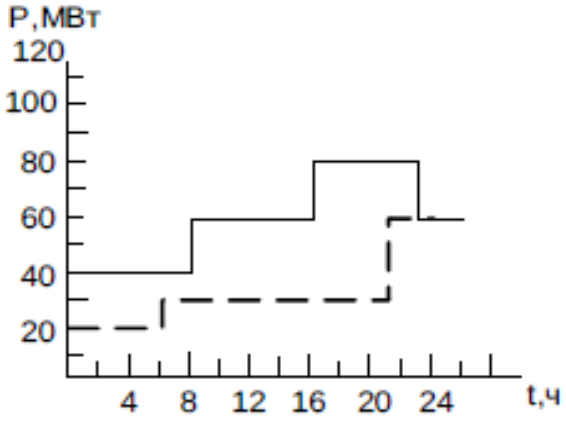


Рисунок 9.3 – Суточные графики нагрузки сети 10 кВ, включая собственные нужды ТЭЦ

Задание №8

Для условий задачи 1 при наличии СР выбрать линейные реакторы (ЛР) на отходящих кабельных линиях 10 кВ местной нагрузки.

Исходные данные для кабельной сети:

- число распределительных пунктов (РП) 16;
- категория потребителей I и II;
- все линии резервированы;
- длина линий от ГРУ 10 кВ до РП 2 км;
- в линии проложены кабели с алюминиевыми жилами сечением

$$s = 150 \text{ мм}^2;$$

- максимальная нагрузка каждой подстанции *Pmax.*= 5000 кВт при

$$\cos\varphi = 0{,}87,\ T_{max.} = 5600 \text{ ч};$$

- минимальное сечение кабелей, отходящих от РП, составляет 70 мм^2 (алюминиевые жилы), на линиях установлены выключатели типа ВМП-10-20/630УЗ (*Iоткл.ном.* = 20 кА);
- начальное значение периодической составляющей начального тока КЗ
- на сборных шинах 10 кВ ТЭЦ (см. задачу 1) *Iпо* = 64,01 кА;
- полное время отключения тока КЗ выключателями, установленными на РП,

$$t_{откл.} = t_{защ.1} + t_{в.\ откл.} = 0{,}6 \text{ с};$$

- выключателями отходящих от ТЭЦ кабельных линий

$$t_{откл.} = t_{защ.2} + t_{в.\ откл.} = t_{защ.1} + \Delta t + t_{в.\ откл.} = 0{,}6 + 0{,}5 = 1{,}1 \text{ с.}$$

- Выбрать ЛР на отходящих от ТЭЦ кабельных линиях.
- Чтобы обеспечить надежную работу кабельной сети в условиях КЗ на кабельных линиях, отходящих от ГРУ 10 кВ ТЭЦ, устанавливаются ЛР. Для этого необходимо выполнение условий:
- Ток КЗ должен быть меньше номинального тока отключения выключателей кабельной сети, установленных на головном участке кабельных линий и у потребителей.
- Ток КЗ должен быть меньше тока термической стойкости кабелей,отходящих от ГРУ 10 кВ ТЭЦ, и кабелей, отходящих от сборных шин РП потребителя.
- Уровень токов КЗ на сборных шинах ГРУ 10 кВ ТЭЦ, сниженный за счет установки секционного реактора, определяет значение сопротивления линейных реакторов. Следовательно, установка СР облегчает условия КЗ для кабельной сети.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключается физическая суть методов ограничения токов КЗ?
2. Какие устройства обеспечивают меньшие потери напряжения в нормальном режиме?
3. В каких случаях удается создать дополнительное сопротивление в цепи тока КЗ?
4. Почему установка секционных реакторов на стороне низшего напряжения ПС малоэффективна?
5. Влияние секционных реакторов на ограничение токов КЗ. Выявление области целесообразного применения секционных реакторов.
6. Определение целесообразности установки секционного реактора по минимуму затрат.
7. Влияние линейных реакторов на ограничение токов КЗ.
8. Оценка достоинств и определение области применения блочной схемы ТЭЦ как средства ограничения токов КЗ.
9. Ограничение токов КЗ на ПС.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Рос-сийской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316

2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции : учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Феде-рации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 61-63 - ISBN 978-5-7410-1542-1 ; То же [Электронный ре-сурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - 2-е изд. доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. - 149 с. : ил. - Библиогр.: с. 114 - ISBN 978-5-9729-0207-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493858

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

2. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

3. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

4. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. http://www.biblioclub.ru -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. http://www.iprbookshop.ru/ - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование лабораторных работ	
4.	Содержание лабораторных работ	
4.1	Лабораторная работа № 1. Потребление электрической энергии. Требования к качеству энергии и надёжности электроснабжения. Ручное/автоматическое управление включением синхронного генератора на параллельную работу по способу самосинхронизации, точной синхронизации, работающего параллельно с электрической системой бесконечной мощности.	
4.2	Лабораторная работа № 2. Потребление электрической энергии. Требования к качеству энергии и надёжности электроснабжения. Ручное/автоматическое управление режимом автономно работающего синхронного генератора.	
4.3	Лабораторная работа №3. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы. Натурное моделирование установившегося режима работы трансформатора.	
4.4	Лабораторная работа №4. Принципы построения схем электрических соединений энергообъектов. Пуск и регулирование реактивной мощности синхронного компенсатора.	
4.5	Лабораторная работа №5. Принципы построения схем электрических соединений энергообъектов. Прямой/реакторный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.	
4.6	Лабораторная работа №6. Принципы построения схем электрических соединений энергообъектов. Самозапуск асинхронного электродвигателя.	
4.7	Лабораторная работа №7. Короткие замыкания в электроустановках. Исследование влияния на статическую устойчивость натурного синхронного генератора вида короткого замыкания в электроэнергетической системе.	
4.8	Лабораторная работа №8. Мониторинг и диагностика оборудования подстанций. Определение соотношения токов короткого замыкания различных	

видов при замыкании в одной и той же точке сети, питающейся от источника практически бесконечной мощности.

4.9 Лабораторная работа №9. Системы измерения, контроля, сигнализации и управления. Диспетчерское управление в электроэнергетических системах.

5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

Приложения

Введение

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с электронными компонентами, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электронных схем и приборов, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях. В предлагаемом учебном пособии описано одиннадцать лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины «Электрические станции и подстанции» состоит в изучение электрооборудования и схем электрических соединений электростанций и подстанций, подготовка обучающихся к проведению различных мероприятий, направленных на повышение их надежности.

Задачей дисциплины обеспечение необходимого уровня освоения содержания дисциплины, формирование профессиональных компетенций выпускника.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства:

– Комплект учебно-лабораторного оборудования «Электрические станции и подстанции».

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения. Переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

3. Наименование лабораторных работ

Для заочной формы обучения предусмотрены следующие лабораторные работы: Лабораторная работа №3. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы. Натурное моделирование установившегося режима работы трансформатора – 1,5 часа, практическая подготовка – 1,5 часа; Лабораторная работа №9. Системы измерения, контроля, сигнализации и управления. Диспетчерское управление в электроэнергетических системах – 1,5 часа.

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
7 семестр			
1	**Лабораторная работа № 1. Потребление электрической энергии. Требования к качеству энергии и надёжности электроснабжения.** Ручное/автоматическое управление включением синхронного генератора на параллельную работу по способу самосинхронизации, точной синхронизации, работающего параллельно с электрической системой бесконечной мощности. Изучить управление включением синхронного генератора на параллельную работу по способу самосинхронизации, точной синхронизации,	1,5	

	работающего параллельно с электрической системой бесконечной мощности.		
2	**Лабораторная работа № 2. Потребление электрической энергии. Требования к качеству энергии и надёжности электроснабжения.** Ручное/автоматическое управление режимом автономно работающего синхронного генератора. Ознакомиться с управлением режимами автономно работающего синхронного генератора.	1,5	
3	**Лабораторная работа №3. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы.** Натурное моделирование установившегося режима работы трансформатора. Приобрести навыки измерения параметров установившегося режима работы трансформатора и электрической сети.	1,5	1,5
4	**Лабораторная работа №4. Принципы построения схем электрических соединений энергообъектов.** Пуск и регулирование реактивной мощности синхронного компенсатора. Приобрести навыки по включению синхронного компенсатора реактивной мощности без нагрузки на валу.	1,5	
5	**Лабораторная работа №5. Принципы построения схем электрических соединений энергообъектов.** Прямой/реакторный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Исследовать прямой и реакторный пуск асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.	1,5	
6	**Лабораторная работа №6. Принципы построения схем электрических соединений энергообъектов.** Самозапуск асинхронного электродвигателя. Анализ процесса самозапуска асинхронного электродвигателя.	1,5	
7	**Лабораторная работа №7. Короткие замыкания в электроустановках.** Исследование влияния на статическую устойчивость натурного синхронного генератора вида короткого замыкания в электроэнергетической системе. Исследовать влияние на статическую устойчивость натурного синхронного генератора однофазных, двухфазных и трехфазных коротких замыканий. Исследовать влияние величины тока возбуждения на статическую устойчивость синхронного генератора при перечисленных видах коротких замыканий.	1,5	1,5

8	**Лабораторная работа №8. Мониторинг и диагностика оборудования подстанций.** Определение соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети, питающейся от источника практически бесконечной мощности. Приобретение навыков опытного определение соотношение токов КЗ различных видов.	1,5	
9	**Лабораторная работа №9. Системы измерения, контроля, сигнализации и управления.** Диспетчерское управление в электроэнергетических системах. Изучить принципы реализации системы передачи, обработки и отображения сигналов телеизмерений и теле сигнализации и телеуправления.	1,5	
	Итого за 7 семестр:	**13,5**	**3**
	Итого:	**13,5**	**3**

4. Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. Потребление электрической энергии. Требования к качеству энергии и надёжности электроснабжения. Ручное/автоматическое управление включением синхронного генератора на параллельную работу по способу самосинхронизации, точной синхронизации, работающего параллельно с электрической системой бесконечной мощности.

Цель работы: Изучить управление включением синхронного генератора на параллельную работу по способу самосинхронизации, точной синхронизации, работающего параллельно с электрической системой бесконечной мощности.

Основы теории:

При точной синхронизации генератор включается в возбужденном состоянии при ЭДС холостого хода, практически равной напряжению на шинах электростанции (при блочной схеме определяемому с учетом трансформатора). Выключатель синхронного генератора включается при весьма малом скольжении в момент совпадения по фазе ЭДС генератора и напряжения на шинах электростанции. После небольших затухающих качаний ротора генератор входит в синхронный режим работы.

Обеспечение совпадения векторов напряжения сети и ЭДС генератора в момент включения выключателя достигается упреждающим включением привода при наличии уменьшающегося угла сдвига фаз с таким расчетом, чтобы за время действия привода угол сдвига фаз уменьшился до нуля. Операция выбора момента включения привода выключателя является основной и крайне ответственной, что и обусловило исторически раннюю автоматизацию включения синхронных генераторов на параллельную работу.

Автоматические устройства точной синхронизации синхронных генераторов состоят из трех частей, обеспечивающих три условия точной синхронизации: равенство амплитуд ЭДС генератора и напряжения на шинах электростанции, близость к синхронной частоты вращения генератора и совпадение по фазе указанных ЭДС и напряжений в момент включения (замыкания контактов) выключателя синхронного генератора. Такие устройства соответственно называются уравнителем амплитуд напряжения, уравнителем частот и автоматическим синхронизатором.

Автоматический синхронизатор обеспечивает выполнение наиболее ответственной операции точной синхронизации по обеспечению совпадения по фазе ЭДС генератора и напряжения на шинах электростанции в момент включения выключателя генератора. Он

выдает управляющее воздействие на включение привода выключателя с опережением момента времени совпадения находящихся в относительном вращении векторов вышеупомянутых величин, т.е. при наличии между ними уменьшающегося угла сдвига по фазе – угла опережения.

Исторически первые автоматические синхронизаторы определяли заданный неизменный угол опережения и назывались автоматическими синхронизаторами с постоянным углом опережения. Однако угол опережения при постоянном времени включения выключателя должен быть переменным, зависящим от характера и параметров относительного движения двух указанных выше векторов. Поэтому современные автоматические синхронизаторы определяют момент включения выключателя таким образом, чтобы не угол, а время опережения оставалось постоянным.

В данном эксперименте реальный генератор автоматически разгоняется до подсинхронной частоты, возбуждается и включается на параллельную работу с помощью виртуального устройства автоматической точной синхронизации, смоделированного на компьютере специальной программой. В программе можно задать скольжение, при котором будет производиться синхронизация, разность напряжений между генератором и сетью, режим работы синхронизатора (с постоянным углом или с постоянным временем опережения включения), угол и/или время опережения и некоторые другие параметры. Также можно установить время задержки с момента подачи сигнала на включение выключателя до собственно его включения, моделируя тем самым времена включения реальных выключателей. При этом необходимо учитывать, что собственное время включения выключателей, входящих в состав лабораторного стенда, составляет примерно 0,02…0,035 секунды.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Собираем электрическую схему соединений и устанавливаем параметры ее элементов. Выполняем подготовительные операции.
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.

- Соедините гнезда защитного заземления "[redacted]" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.
- Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Электрические схемы соединений экспериментов 2, 3, 4 настоящего Руководства различаются незначительно. Самой общей и полной является схема эксперимента 3. Соединив аппаратуру в соответствии со схемой эксперимента 3, можно выполнить эксперименты 2, 3 и 4 без повторной разборки-сборки схемы.
- Переключатели номинальных фазных напряжений трехфазных трансформаторных групп A2 и A4 установите соответственно равными 220 и 230 В. Параметры линии электропередачи A3 установите следующими: R = 50 Ом, L/R_L = 0,9 Гн / 24 Ом, C1=C2=0 мкФ.
- Готовим схему и проводим эксперимент в ручном режиме.
- Переключатели режимов работы трехполюсного выключателя A1, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины, блока синхронизации A5 установите в положение «РУЧН.». Тумблеры делителей напряжения коннектора A11 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A11 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A10 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.
- Включите выключатели «СЕТЬ» трехполюсного выключателя A1, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины, указателя A7 частоты вращения, блока A5 синхронизации.
- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Включите выключатель A1 нажатием на кнопку «ВКЛ.» на его передней панели.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A12 и запустите программу «Точная синхронизация».
- Запустите сбор данных в ручном режиме, нажав для этого виртуальную кнопку «Запустить» ▶ или выбрав соответствующий пункт в меню «Действия».

- Наблюдая изменения параметров генератора и сети по виртуальному графопостроителю программы, включите генератор на параллельную работу с сетью методом точной синхронизации. Для этого выполните следующие действия:
- Включите источник G2, нажав на кнопку «ВКЛ.» на его передней панели. Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите частоту вращения двигателя M1 (генератора G4) 1500 мин$^{-1}$.
- Включите возбудитель G3, нажав на кнопку «ВКЛ.» на его передней панели. Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, установите напряжение между фазами (линейное) генератора G4 равным линейному напряжению сети. Равенство напряжений и частот генератора и сети определяйте по измерителю A6.
- Обеспечьте условия синхронизации согласно табл. 4. (см. эксперимент 1.1.1) и подключите генератор к сети нажатием на кнопку «ВКЛ.» блока A5 синхронизации.
- Готовим аппаратуру и проводим эксперимент в автоматическом режиме.
- Остановите сбор данных, нажав для этого виртуальную кнопку «Остановить» или выбрав соответствующий пункт из меню «Действия».
- Остановите силовой агрегат, выполнив следующие действия:
- Отключите генератор от сети, нажав для этого кнопку «ОТКЛ.» блока A5 синхронизации.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, снимите возбуждение с генератора G4. Отключите возбудитель G3 нажатием на кнопку «ОТКЛ.» на его передней панели.
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2 против часовой стрелки до упора, остановите двигатель M1 (генератор G4). Отключите источник G2 нажатием на кнопку «ОТКЛ.» на его передней панели.
- Переключатели режима работы блока A5 синхронизации, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины установите в положение «АВТ.».
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока ввода-вывода цифровых сигналов.
- Выберите автоматический режим синхронизации генератора, нажав для этого соответствующую виртуальную кнопку на экране компьютера.
- Задайте уставки управления процессом точной синхронизации. Например, оставьте уставки, заданные по умолчанию.

- Нажмите на виртуальную кнопку программы «Запустить» . Генератор должен разогнаться, возбудиться, подключиться к сети, поработать несколько секунд, отключится от сети и остановиться.
- Нажмите на виртуальную кнопку программы «Отобразить записанный процесс» . На экране графопостроителя появятся зависимости записанных режимных параметров от времени. Проанализируйте их.
- Для проведения исследования влияния параметров синхронизации (скольжения, разницы напряжений генератора и сети, угол или время опережения и др.) на процесс синхронизации повторяйте эксперимент, задаваясь требуемыми значениями упомянутых параметров.
- По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков A1, A5, A7, A10, G2, G3. Закройте программу «Точная синхронизация».

<u>Ниже перечислены некоторые замечания.</u>

- Для удобства определения значений величин по графикам на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
- На экране отображаются состояния выключателей источника G2, возбудителя G3 и блока A5 синхронизации.
- На экране отображается последовательность процесса точной синхронизации.
- На экране имеется виртуальный синхроноскоп.
- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Запись процессов производится программой в циклический буфер. Менять его параметры можно на вкладке «Запись процессов» в окне уставок управления.
- Включение генератора в сеть происходит в момент времени, примерно равный t = 0 (по графику записанных осциллограмм).
- Уставку скольжения задавайте в диапазоне 0,1…1,0 %.

- Необходимо учитывать, что имеются погрешности определения режимных параметров, которые могут повлиять на выбор момента включения выключателя блока А5 синхронизации, кроме того, время включения этого выключателя также может колебаться в небольших пределах. Поэтому момент включения генератора в сеть носит вероятностный характер, другими словами, при одних и тех же уставках характер процессов в схеме может быть несколько различным. В связи с этим для более точной картины следует проводить несколько опытов с одними и теми же уставками параметров управления.

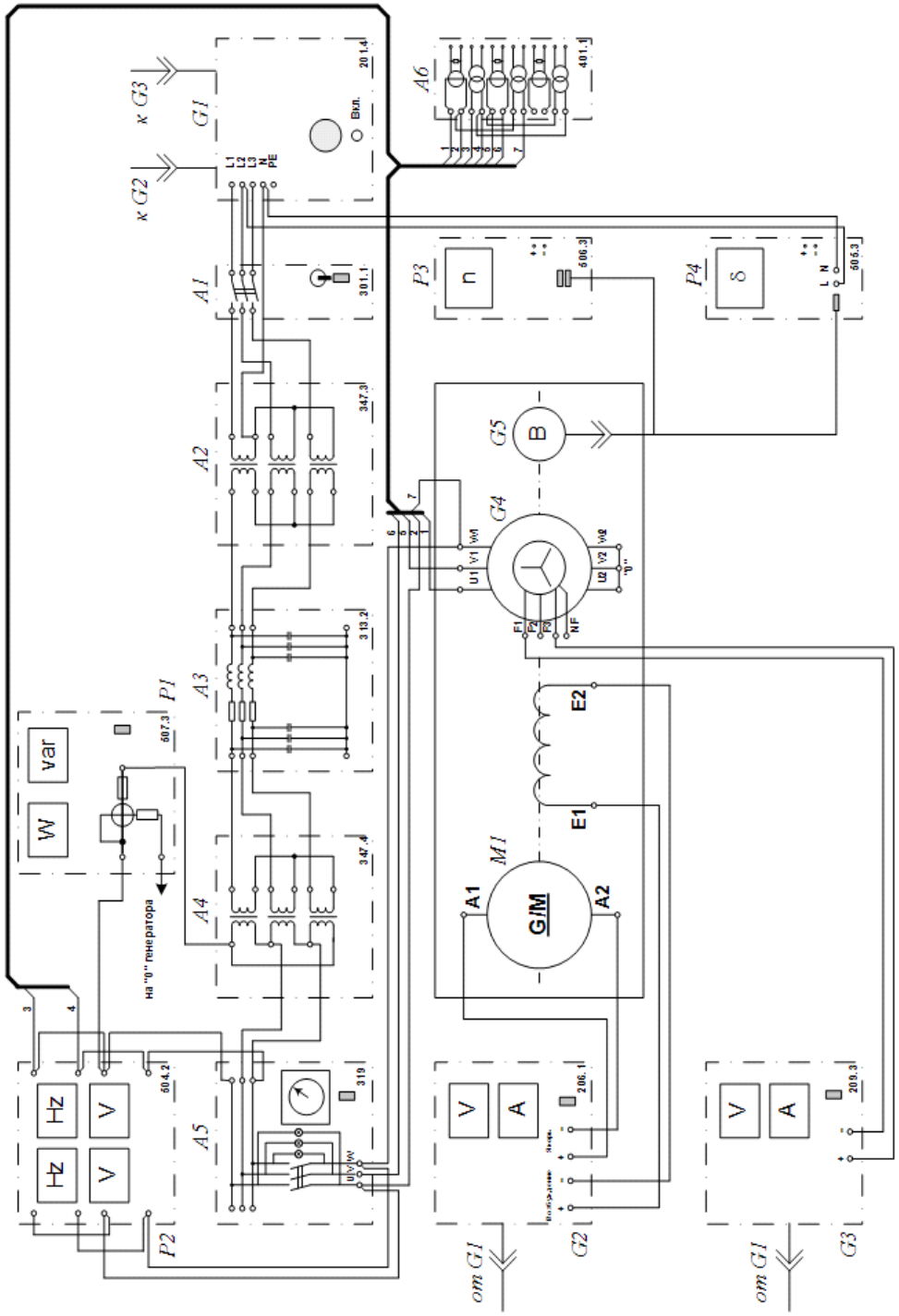


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема управление включением синхронного генератора на параллельную работу

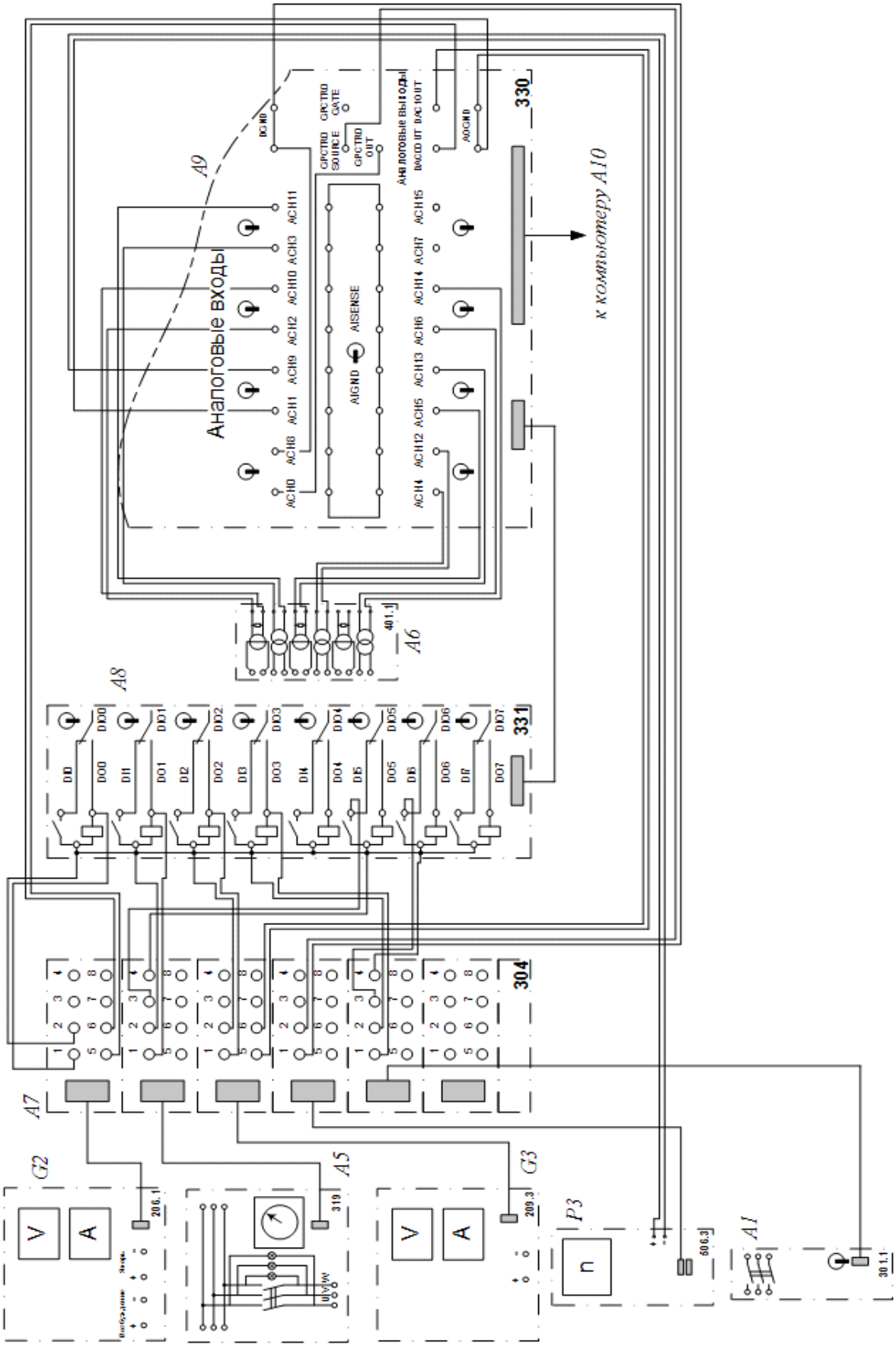


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема модуля ввода-вывода к коннектору

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Параллельная работа синхронных генераторов на сеть ограниченной мощности.

2. Какие методы имеются для включения синхронных генераторов на параллельную работу с сетью?

3. К чему приведет несоблюдение отдельных условий включения генераторов на параллельную работу с сетью по методу точной синхронизации?

4. Что произойдет, если при включении генератора на параллельную работу с сетью по методу самосинхронизации обмотку возбуждения генератора оставить подключенной к возбудителю?

Лабораторная работа № 2. Потребление электрической энергии. Требования к качеству энергии и надёжности электроснабжения. Ручное/автоматическое управление режимом автономно работающего синхронного генератора.

Цель работы: Ознакомиться с управлением режимами автономно работающего синхронного генератора

Основы теории:

В данном эксперименте моделируется одномашинная электрическая система, работающая в нормальном режиме параллельно с электрической системой бесконечной мощности.

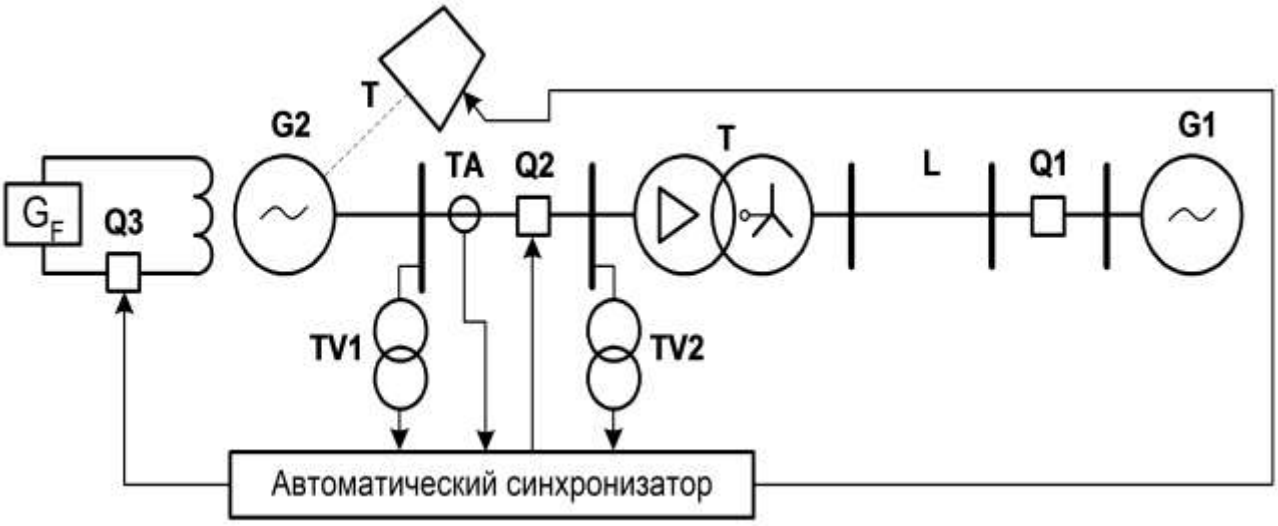


Рисунок 2.1 – Модель одномашинной электрической системы

С помощью специальной компьютерной программы синхронный генератор G2 автоматически подключается к системе бесконечной мощности G1 методом точной синхронизации и нагружается активной и реактивной мощностями. После получения от оператора команды на отключение происходит обратный процесс – генератор разгружается и отключается от электрической системы, возбуждение снимается, приводной двигатель останавливается.

Таким образом, в данной работе моделируется комплексное управление электрической системой – управление подключением генератора к системе бесконечной мощности, регулирование активной и реактивной мощностей генератора, управление отключением генератора от электрической системы.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Собираем электрическую схему соединений и устанавливаем параметры ее элементов. Выполняем подготовительные операции.
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.
- Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Мощности фаз активной нагрузки A6 установите равными 10 % от 50 Вт.
- Готовим аппаратуру к проведению эксперимента в ручном режиме.
- Переключатели режимов работы трехполюсного выключателя A4, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины установите в положение «РУЧН.». Тумблеры делителей напряжения коннектора A11 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A11 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A10 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0…DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4…DIO7.
- Включите выключатели «СЕТЬ» трехполюсного выключателя A4, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины, указателей A1 и A7 частоты вращения, измерителя мощностей A3.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A12 и запустите программу «Автоматическое управление - 1».
- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

- Включите возбудитель G3 синхронной машины, нажав кнопку «ВКЛ.» на его передней панели. Вращая регулировочную рукоятку, установите ток обмотки возбуждения генератора равным 2А.
- Запустите сбор данных в ручном режиме, нажав для этого виртуальную кнопку «Запустить» или выбрав соответствующий пункт в меню «Действия».
- Регулировочную рукоятку источника G2 поверните против часовой стрелки до упора. Включите источник G2, нажав кнопку «ВКЛ.» на его передний панели.
- Наблюдая изменение параметров схемы по виртуальным приборам программы, вращайте регулировочную рукоятку источника G2 по часовой стрелке. Установите частоту вращения генератора равной примерно 1500 об/мин, после чего включите выключатель А4, нажав соответствующую кнопку на его передней панели. Обратите внимание на изменение параметров режима работы схемы.
- Изменяйте мощности фаз активной нагрузки А6, напряжение источника питания G2 двигателя постоянного тока, ток возбуждения генератора. Наблюдайте изменение режимных параметров схемы.
- Эксперимент в ручном режиме завершен.
- Остановите сбор данных, нажав для этого виртуальную кнопку «Остановить» или выбрав соответствующий пункт из меню «Действия».
- Регулировочные рукоятки источника питания G2 двигателя постоянного тока и возбудителя G3 установите в положение против часовой стрелки до упора. Отключите источник G2 и возбудитель G3, нажав на кнопки «ОТКЛ.» на их передней панели. Отключите трехполюсный выключатель А4.
- Готовим аппаратуру к проведению эксперимента в автоматическом режиме.
- Переключатель режима работы источника G2, возбудителя G3 и трехполюсного выключателя А4 установите в положение «АВТ.».
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока А10 ввода-вывода цифровых сигналов.
- Выберите автоматический режим работы программы, нажав для этого соответствующую виртуальную кнопку на экране компьютера.
- Задайте уставки управления (кнопкой), используемые программой. Например, оставьте уставки, заданные по умолчанию.
- Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» . Нажмите виртуальную кнопку «ПУСК». После завершения разгона и возбуждения генератора включите виртуальный выключатель. Изменяйте частотную характеристику задания (путем «перетаскивания»

мышкой белой точки на соответствующем графике), мощности фаз активной нагрузки А6, задание напряжения на шинах генератора (с помощью виртуальной регулировочной рукоятки). Наблюдайте изменение режимных параметров схемы.

- При «аварийной» остановке генератора остановите программу и запустите вновь (кнопкой «Остановить» и «Запустить» соответственно).
- По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков G2, G3, A1, A3, A4, A8. Закройте программу «Автоматическое управление - 1».

<u>При работе с программой следует пользоваться её возможностями:</u>

- Для удобства определения значений величин по графику на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.
- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.

Двигать график осциллограмм относительно осей координат можно путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.

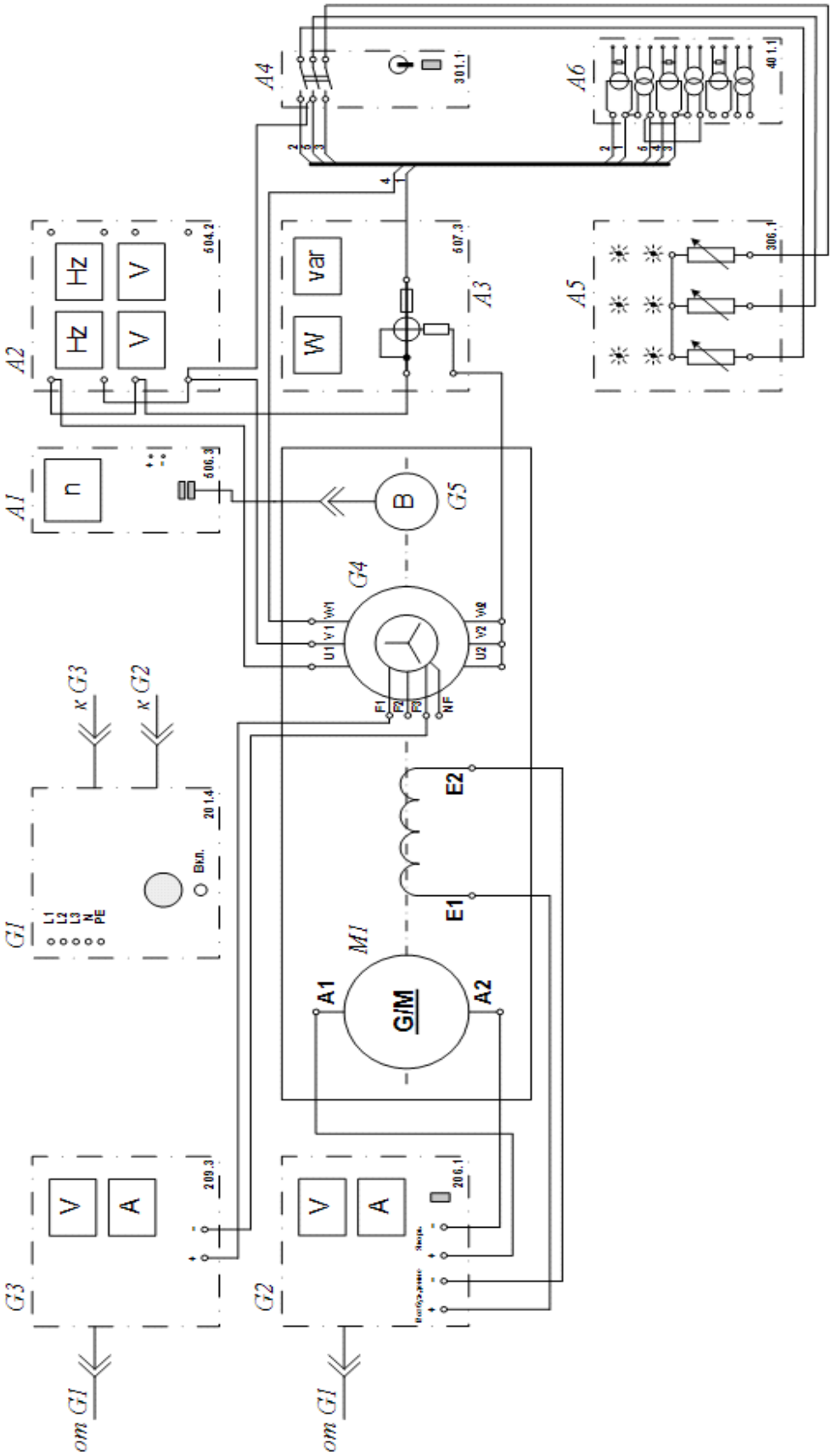


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема управления режимом автономно работающего синхронного генератора.

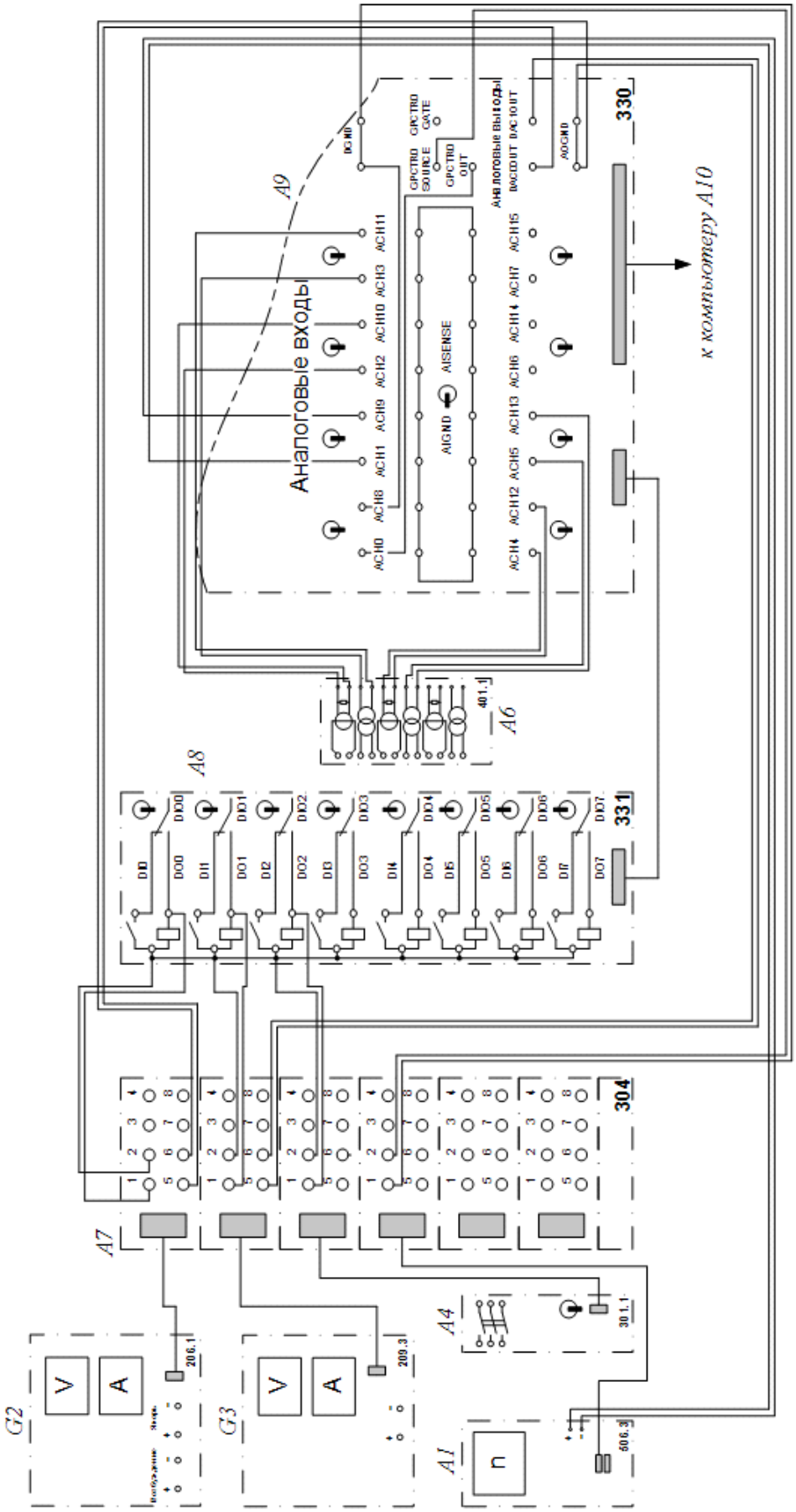


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема модуля ввода-вывода к коннектору

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. От чего зависит качание и динамическая устойчивость синхронной машины?
2. Почему обмотку возбуждения генератора при включении на параллельную работу по методу самосинхронизации не следует замыкать накоротко?

Лабораторная работа №3. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы. Натурное моделирование установившегося режима работы трансформатора.

Цель работы: Приобрести навыки измерения параметров установившегося режима работы трансформатора и электрической сети.

Основы теории:

На электрических схемах двухобмоточный трансформатор представляется следующим образом (рисунок 3.1):

В обмотках указывается схемы соединения обмоток (звезда, звезда с нулем, треугольник) и режим работы нейтрали:

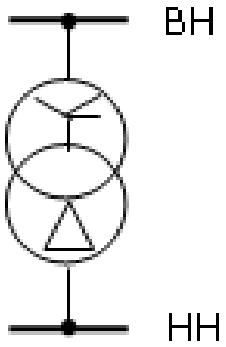


Рисунок 3.1 – Условное обозначение двухобмоточного трансформатора

- звезда – с изолированной нейтралью;
- звезда с нулем – имеется соединение нейтрали с землей.

В соответствии с принятой системой обозначений аббревиатура трансформатора ТДН-10000/110/10 расшифровывается: трансформатор трехфазный, двухобмоточный с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла, и системой регулирования напряжения под нагрузкой. Номинальная мощность – 10000 кВ·А, класс напряжения обмотки высшего напряжения – 110 кВ, низшего напряжения – 10 кВ.

В практических расчетах двухобмоточный трансформатор чаще всего представляется Г-образной схемой замещения (рисунок 3.2).

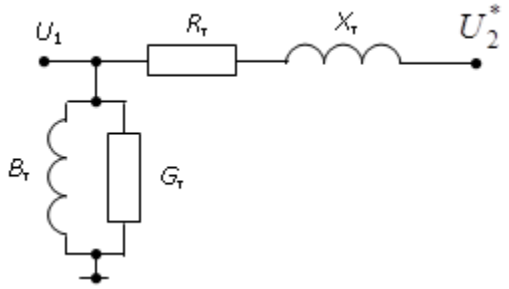


Рисунок 3.2 – Г-образная схема замещения двухобмоточного трансформатора

Активное и реактивное сопротивления трансформатора (продольная ветвь) представляют собой сумму активных и реактивных сопротивлений обмотки высшего напряжения и приведенной к ней обмотки низшего напряжения:

$$R_т = R_в + R_н^*;$$

$$X_т = X_в + X_н^*.$$

Поперечная ветвь схемы замещения представлена активной Gт и реактивной Вт проводимостями. Проводимости обычно подключают со стороны первичной обмотки: для повышающих трансформаторов – со стороны обмотки низшего напряжения, для понижающих – со стороны обмотки высшего напряжения.

В такой схеме замещения отсутствует трансформация, то есть отсутствует идеальный трансформатор. Поэтому в расчетах вторичное напряжение оказывается приведенным к напряжению первичной обмотки.

Активная проводимость обусловлена потерями активной мощности в стали трансформатора на перемагничивание и вихревые токи, реактивная проводимость – намагничивающей мощностью. В расчетах режимов электрической сети проводимости заменяются нагрузкой, равной потерям холостого хода.

Параметры схемы замещения трансформатора определяются из двух опытов – холостого хода и короткого замыкания. В опытах определяют следующие величины, которые указывают в паспортных данных трансформатора:

- потери активной мощности в режиме холостого хода $\Delta P_х$ в кВт;
- потери активной мощности в режиме короткого замыкания $\Delta P_к$ в кВт;
- напряжение короткого замыкания $U_к$, в %;
- ток холостого хода $I_х$, в %.

Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах и автотрансформаторах разделяются на потери в стали и потери в меди (нагрузочные потери). Потери в стали – это потери в проводимостях трансформаторов. Они зависят от приложенного напряжения. Нагрузочные потери – это потери в сопротивлениях трансформаторов. Они зависят от тока нагрузки.

Потери активной мощности в стали трансформаторов – это потери на перемагничивание и вихревые токи. Определяются потерями холостого хода трансформатора $\Delta P_{\text{х}}$, которые приводятся в его паспортных данных.

Потери реактивной мощности в стали определяются по току холостого хода трансформатора, значение которого в процентах приводится в его паспортных данных:

$$\Delta Q_{\text{ст}} = \Delta Q_{\text{х}} = \frac{I_{\text{х}}}{100} S_{\text{ном}}.$$

Потери мощности в обмотках трансформатора можно определить двумя путями:

- по параметрам схемы замещения;
- по паспортным данным трансформатора.

Потери мощности по параметрам схемы замещения определяются по тем же формулам, что и для ЛЭП:

$$\Delta P_{\text{мд}} = \frac{S^2}{U^2} R_{\text{т}};$$

$$\Delta Q_{\text{мд}} = \frac{S^2}{U^2} X_{\text{т}}$$

где: S – мощность нагрузки;

U – линейное напряжение на вторичной стороне трансформатора.

Для трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора потери в меди определяются как сумма потерь мощности каждой из обмоток. Получим выражения для определения потерь мощности по паспортным данным двухобмоточного трансформатора.

Потери короткого замыкания, приведенные в паспортных данных, определены при номинальном токе трансформатора:

$$\Delta P_{\text{к}} = 3 \cdot I_{\text{ном}}^2 \cdot R_{\text{т}} = \frac{S_{\text{ном}}^2}{U_{\text{ном}}^2} R_{\text{т}}.$$

При любой другой нагрузке потери в меди трансформатора равны:

$$\Delta P_{\text{мд}} = 3 \cdot I^2 \cdot R_{\text{т}} = \frac{S^2}{U_{\text{ном}}^2} R_{\text{т}}.$$

Разделив эти выражение, получим:

$$\frac{\Delta P_{\text{к}}}{\Delta P_{\text{мд}}} = \frac{S_{\text{ном}}^2}{S}.$$

Откуда найдем $\Delta P_{\text{мд}}$:

$$\Delta P_{\text{мд}} = \Delta P_{\text{к}} (\frac{S}{S_{\text{ном}}})^2.$$

Если в выражение для расчета $\Delta Q_{\text{мд}}$, подставить выражение для определения реактивного сопротивления трансформатора, то получим:

$$\Delta Q_{\text{мд}} = \frac{S^2}{U_{\text{ном}}^2} X_{\text{т}} = \frac{S^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{ном}}} = \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{ном}}}.$$

Таким образом, полные потери мощности в двухобмоточном трансформаторе равны:

$$\Delta P_{\text{т}} = \Delta P_{\text{х}} + \Delta P_{\text{к}} (\frac{S}{S_{\text{ном}}})^2;$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = \Delta Q_{\text{х}} + \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{ном}}}.$$

Если на подстанции с суммарной нагрузкой S работает параллельно n одинаковых трансформаторов, то их эквивалентные сопротивления в n раз меньше, а проводимости в n раз больше, тогда:

$$\Delta P_{\text{т}} = n \cdot \Delta P_{\text{х}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{к}} (\frac{S}{S_{\text{ном}}})^2;$$

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" однофазного источника питания G1 (G3).

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 3.3.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора A1, например, равным 1,0.
- Установите переключателями желаемые параметры нагрузок в моделях A3…A6 равными, например, 10 Вт и 0 ВАр.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3…A6.
- Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
- Включите однофазный источник питания G3.
- Кнопкой « < » измерителей P1 и P2 выбирайте и фиксируйте отображаемые параметры режима на первичной и вторичной сторонах трансформатора A1 (напряжения, токи, активные, реактивные и полные мощности, коэффициенты мощности, частоту напряжения).
- По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров P1, P2 и моделей A3…A6, однофазный источник питания G1.

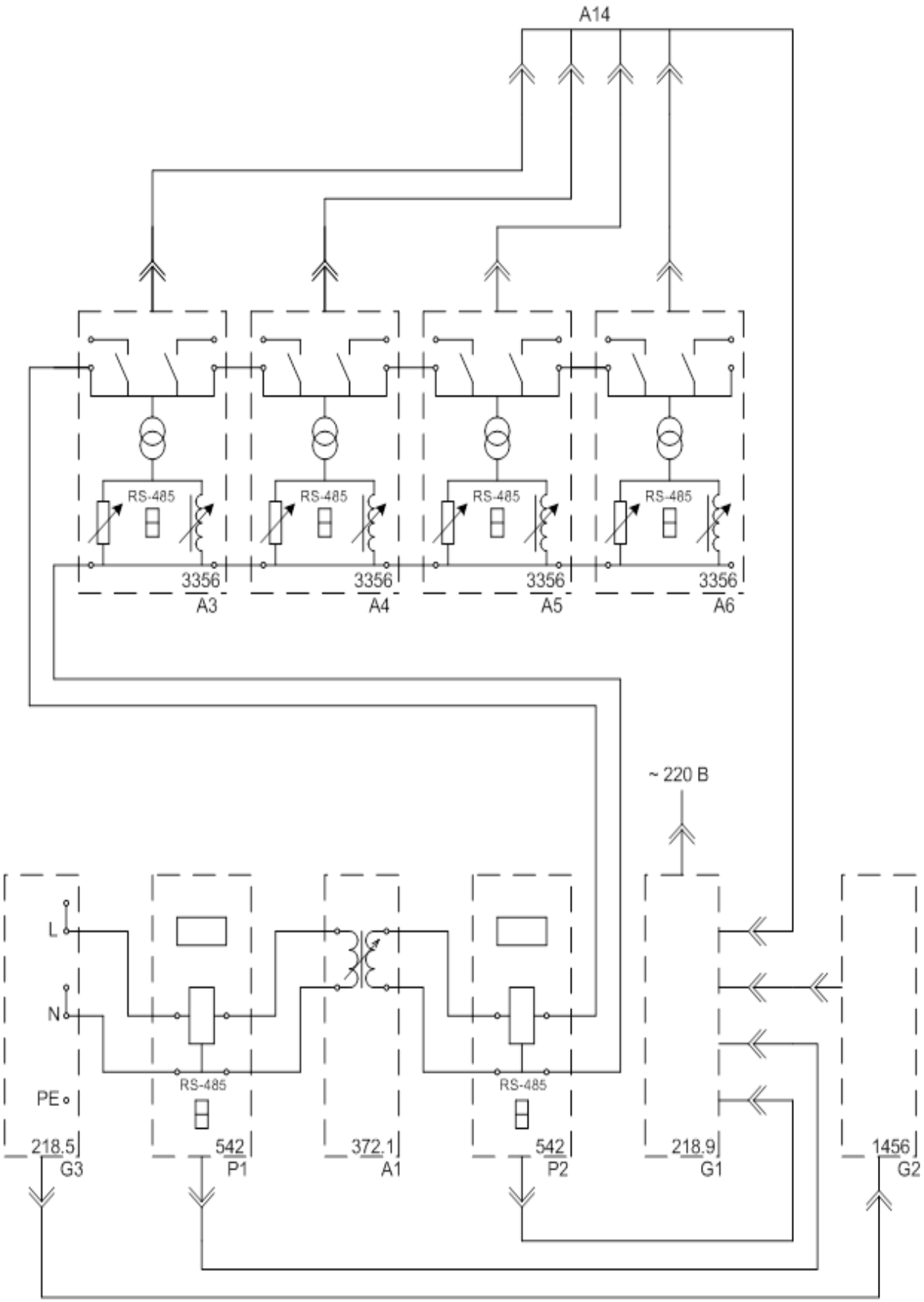


Рисунок 3.3 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы однофазного трансформатора

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какие схемы замещения применится для моделирования и расчетов трансформаторов?
2. Какие данные необходимы для вычисления активного сопротивления схемы замещения трансформатора?
3. От чего зависят потери холостого хода трансформатора?
4. В каких случаях применяют П-образные схемы замещения трансформатора?
5. Какими параметрами характеризуется установившийся режим работы

Лабораторная работа №4. Принципы построения схем электрических соединений энергообъектов. Пуск и регулирование реактивной мощности синхронного компенсатора.

Цель работы: Приобрести навыки по включению синхронного компенсатора реактивной мощности без нагрузки на валу

Основы теории:

Существуют несколько способов пуска компенсатора. Все они в главном заключаются в том, что в процессе пуска ротор машины разгонятся до скорости, близкой к скорости вращающегося поля, после чего компенсатор входит в синхронизм и начинает работать как синхронный.

Выделяют пуск с помощью разгонного двигателя, частотный и асинхронный пуск.

Для осуществления последнего на роторе в полюсных наконечниках размещают пусковую обмотку. Эта обмотка выполняется по типу короткозамкнутой обмотки асинхронного двигателя. При пуске трехфазная обмотка статора включается в сеть, ротор компенсатора приходит во вращение и разворачивается до скорости, близкой к синхронной. Вхождение в синхронизм достигается после подачи постоянного тока в обмотку возбуждения.

В данном эксперименте обмотки ротора универсальной машины переменного тока выполняют роль пусковых при разгоне компенсатора. По окончании разгона в обмотки ротора подается постоянный ток и происходит втягивание машины в синхронизм.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Замыкаем обмотку возбуждения двигателя.
- Включите выключатель А3 кнопкой «ВКЛ».
- Включаем двигатель как асинхронный.
- Включите выключатель А3 кнопкой «ВКЛ». Двигатель М1 должен прийти во вращение.
- Размыкаем обмотку возбуждения и подключаем к ней возбудитель. Действие производим быстро и именно в указанной последовательности, во избежание включения возбудителя G3 на короткое замыкание.

- Отключите выключатель А3 кнопкой «ОТКЛ.» и сразу же включите выключатель А4 кнопкой «ВКЛ.». Двигатель М1 должен втянуться в синхронизм.
- Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1.
- Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

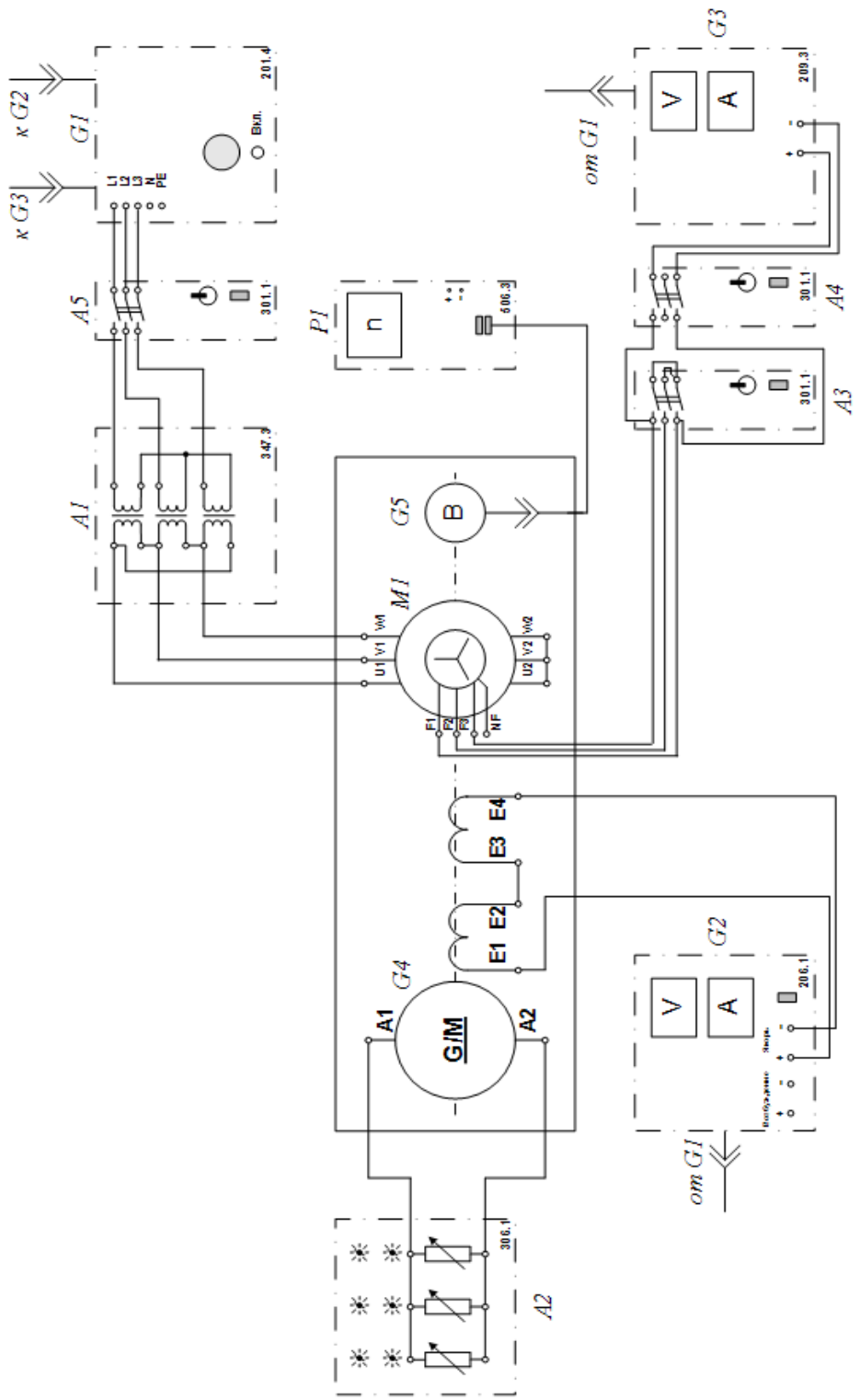


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема пуска синхронного компенсатора реактивной мощности без нагрузки на валу

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Принцип действия синхронной машины и особенности ее конструкции. От чего зависит частота вращения синхронного двигателя?

2. При каких условиях можно использовать асинхронную машину в качестве синхронной?

3. Каково назначение синхронного компенсатора?

4. Какой ток возбуждения называется нормальным?

5. Охарактеризуйте работу синхронного компенсатора в режиме недовозбуждение и в каких случаях такой режим применяется?

6. Охарактеризуйте работу синхронного компенсатора в режиме перевозбуждение и в каких случаях такой режим применяется?

7. Поясните порядок переключений обмотки возбуждения при асинхронном пуске СК.

8. Какой режим (перевозбуждения или недовозбуждения) является расчетным для СК и почему?

9. По каким признакам, находясь на щите управления или в машинном зале, можно узнать, что данный СК находится в асинхронном режиме?

10. Как изменится режим СК после потери возбуждения?

Лабораторная работа №5. Принципы построения схем электрических соединений энергообъектов. Прямой/реакторный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Цель работы: Исследовать прямой и реакторный пуск асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Основы теории:

Существуют несколько способов пуска асинхронных двигателей. При прямом пуске обмотка статора непосредственно, без всяких пусковых устройств, подключается к сети. В тех случаях, когда из-за большого падения напряжения в сети прямой пуск для короткозамкнутых двигателей недопустим, применяют подключение их обмоток статора на пониженное напряжение, при этом пусковой ток уменьшается, что приводит к снижению падения напряжения в сети. Различают пуск через реактор, через автотрансформатор, переключение со звезды на треугольник.

При пуске двигателя с фазным ротором в цепь ротора включается добавочное активное сопротивление – пусковой реостат. Пусковой реостат обычно имеет несколько ступеней и рассчитывается на кратковременное протекание тока. По мере разгона двигателя сопротивление пускового реостата уменьшают, переходя с одной его ступени на другую. Этот переход может осуществляться как вручную, так и автоматически.

В данной работе имеется возможность смоделировать одно- и двухступенчатый реакторный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с одновременным отображением параметров на экране компьютера.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.
- Соедините гнезда защитного заземления "[redacted]" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" трехфазного источника питания G1.

- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключатели режима работы источника G2 и выключателей A6, A8 установите в положение «РУЧН.».
- Установите в каждой фазе активной нагрузки A10 ее суммарную величину равную, например, 100 %.
- В трехфазной трансформаторной группе A2 переключателем установите желаемое номинальное вторичное напряжение трансформатора, например, 133 В.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A5 и запустите прикладную программу «Многоканальный осциллограф».
- Включите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Вращением рукоятки на передней панели источника G2 установите напряжение, например, 100 В на его регулируемом выходе «ЯКОРЬ».
- Нажмите на виртуальные кнопки «ВКЛ.» включения сканирования используемых каналов осциллографа.
- Нажмите последовательно кнопки «ВКЛ.» источника G2, выключателя A6 и спустя, например, 2 с выключателя A8. Остановите сбор данных нажатием на виртуальную кнопку «Остановить» . В результате должен осуществиться двухступенчатый пуск нагруженного асинхронного двигателя M1 и должны записаться в компьютер данные о режимных параметрах на интервале пуска.
- Отобразите записанный процесс нажатием на виртуальную кнопку .
- *При желании одноступенчатый пуск осуществляем включением выключателя A6 при заранее включенном выключателе A8.*
- Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1.
- Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

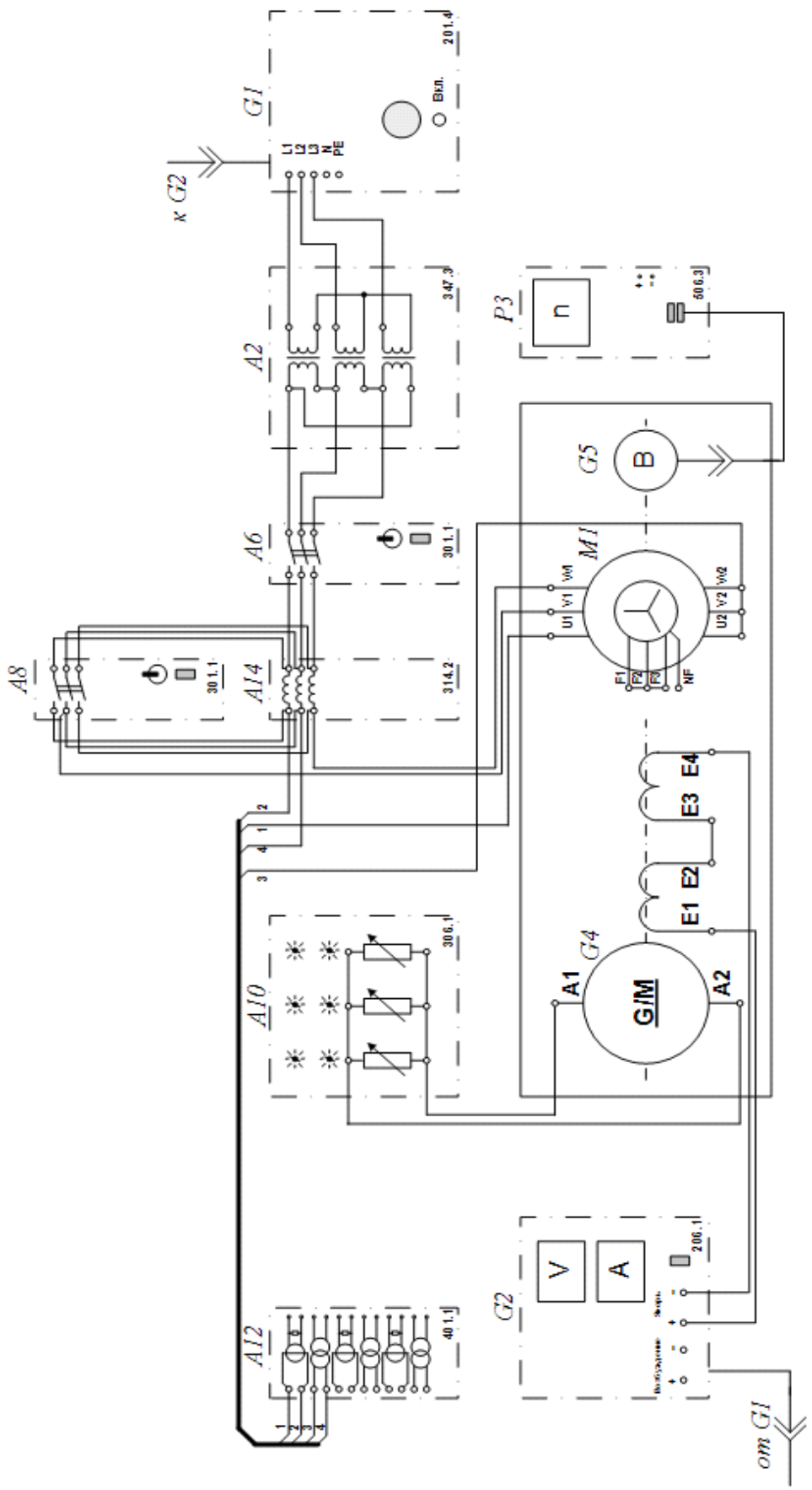


Рисунок 5.1 – Принципиальная схема прямого/реакторного пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

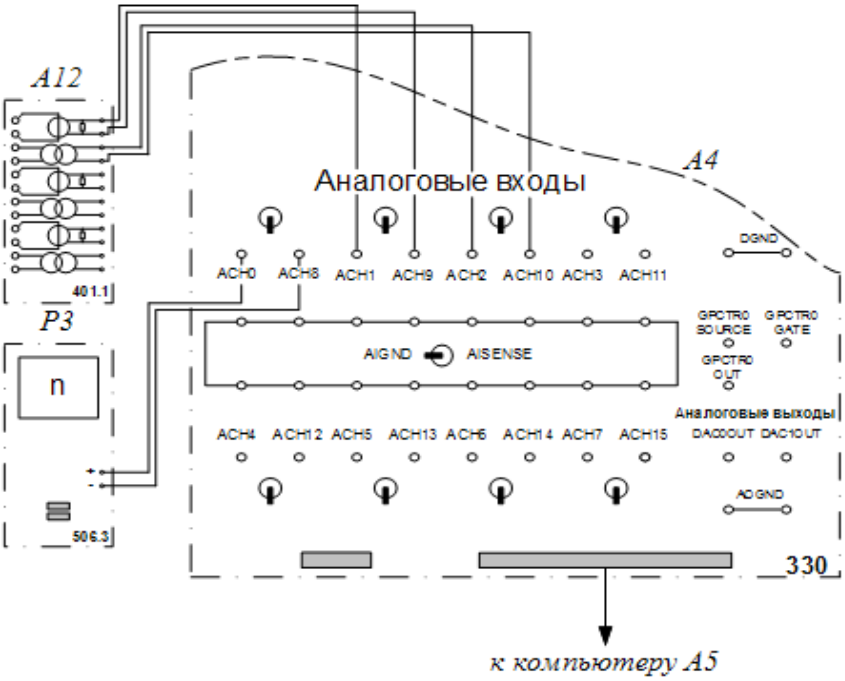


Рисунок 5.2 – Схема подключения измерительных трансформаторов к коннектору

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Объяснить принцип действия асинхронного двигателя.

2. Назвать преимущества и недостатки асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

3. Какова частота вращения основного магнитного поля асинхронного двигателя и с какой частотой изменяется ток в обмотке его ротора при номинальной нагрузке?

4. Как изменятся линейные токи, если обмотку статора переключить со звезды на треугольник при неизменном напряжении сети?

5. Какие существуют способы регулирования частоты вращения ротора трёхфазных асинхронных двигателей?

Лабораторная работа №6. Принципы построения схем электрических соединений энергообъектов. Самозапуск асинхронного электродвигателя.

Цель работы: Анализ процесса самозапуска асинхронного электродвигателя.

Основы теории:

Самозапуск – процесс частичного или полного останова электродвигателей (снижения частоты вращения), в результате кратковременного перерыва питания, с последующим восстановлением частоты вращения.

Причин может быть множество, разделим их на несколько часто встречающихся в эксплуатации, итак:

- Отключение рабочего ввода (трансформатора, линии) из-за повреждения на шинах (короткое замыкание) или вследствие отказа выключателя.
- Продолжительное снижение напряжения на шинах, что вызывает срабатывание АВР действием ЗМН или АПВ.
- Отключение электрооборудования самопроизвольно или вследствие ошибки персонала.
- Автоматическое отключение блока, из-за повреждения генератора, турбины, блочного трансформатора.

Некоторые из причин возникают достаточно редко или никогда, но для профилактики проводят испытания на самозапуск, когда создают условия близкие к вышеуказанным, с возможными отключениями основного оборудования. Данные испытания призваны повысить надежность и проверить работоспособность защит и уставок.

При успешном самозапуске двигатели после затормаживания вновь набирают обороты и продолжают работу. При неуспешном самозапуске двигатели не разгоняются и останавливаются.

Неудавшийся самозапуск может привести к аварийному останову котлов, турбогенераторов, что вызовет недоотпуск электроэнергии и тепла потребителям, также возможно отключение ответственных потребителей, ну и, естественно, к повреждению основного и вспомогательного оборудования.

Успешность самозапуска должна быть заложена на стадии проектирования, для этого, кроме прочего, необходимо правильно выбрать уставки технологических и электрических защит, рассчитать процесс самозапуска, чтобы выполнялись расчетные условия успешности всего процесса, такие как начальное напряжение и выполнение определенных условий.

ля повышения успешности самозапуска необходимо, чтобы в процессе самозапуска участвовали только ответственные агрегаты, перерыв питания СН не превышал 2,5 с, все необходимые защиты были в надлежащем состоянии.

Неответственные механизмы должны отключаться первой ступенью ЗМН, это облегчает условия самозапуска ответственных. К ответственным механизмам относятся те, отключение которых приведет к нарушению режима работы основного оборудования электростанции или котельной (котлы, генераторы, турбины).

Список ответственных механизмов утверждается главным инженером предприятия, но в общем случае, к таким агрегатам относятся самые мощные ПЭНы, сетевые насосы, тягодутье котлов (дымососы и вентиляторы котлов), дымососы рециркуляции, конденсатные насосы, циркуляционные насосы. Самые ответственные механизмы должны иметь максимальную выдержку времени защиты минимального напряжения.

Грубо говоря, напряжение пропадает, отключается рабочее питание, срабатывают защиты, АВР, переходим на резервное питание. Сначала отключаются неответственные механизмы (если предусмотрено), не способные нарушить технологические режимы основного оборудования, после их отключения напряжение повышается и самозапуск ответственных механизмов проходит более легко. При восстановлении напряжения механизмы вновь набирают рабочие частоты и работают длительное время.

В ходе протекания процесса самозапуска электродвигателей следует особое внимание уделять параметрам основного и вспомогательного оборудования схемы:

- уменьшение расхода воды в корпусе котла;
- снижение уровня воды в барабане котла;
- снижение разрежения в топке котла;
- снижение давления на всасывающей и напорной стороне питательных насосов;
- уменьшение расхода циркуляционной воды в конденсаторах турбины;
- падение давлений масла в системе смазки генератора и агрегата питательного насоса;
- снижение производительности питателей пыли;
- повышение давления в обратной магистрали сетевой воды теплофикационного блока.

Из всех технологических защит, главную роль играют те, которые действуют на отключение блока с выдержками меньшими, чем время самозапуска механизмов собственных нужд. Необходимо обращать внимание на отдельные технологические системы, глубокое снижение параметров в которых может привести к отключению основного оборудования

(система регулирования турбин) или к расстройству основных функций системы (система уплотнений вала ротора с отдельно стоящими насосами уплотнений).

К электрическим защитам, которые должны рассматриваться в первую очередь, при протекании процесса самозапуска, следует отнести те, которые отстраиваются от пусковых токов отдельных агрегатов или от режимов группового самозапуска. К таким защитам относятся токовые отсечки, защиты от перегрузки, максимальные токовые защиты, уставки АВР вводов питания с пуском по напряжению. Отдельно необходимо контролировать изменение напряжения и тока на рабочих и резервных вводах до и после процесса самозапуска, пусковые токи ответственных механизмов. Уровень начального напряжения при самозапуске определяется расчетно-экспериментальным путем, подробнее об этом в статье про расчет самозапуска.

Правильный выбор уставок технологических защит и их согласование с электрическими защитами позволит предотвратить отключение оборудование и оставить нагрузку блока неизменной после самозапуска электродвигателей.

В процессе самозапуска участвуют ответственные механизмы, отключение которых может привести к нарушению работы основного оборудования ТЭЦ или нарушению технологического процесса на предприятии, что в свою очередь может привести к недоотпуску электроэнергии, выходу из строя основного и вспомогательного оборудования.

Бывают случаи, когда самозапуск отдельных механизмов недопустим по условиям техники безопасности, например, самозапуск электродвигателей компрессорной установки, работающей с взрывоопасными веществами.

Перед выбором механизмов, которые будут принимать участие в самозапуске, необходимо учитывать, что в некоторых случаях во время перерыва питания, мощность источника питания становится меньше. В таких условиях нецелесообразно повышать суммарную мощность самозапускающихся механизмов. Если же мощность источника питания позволяет, то можно самозапускать все механизмы, для которых этот режим необходим.

Также следует следить за загрузкой агрегатов собственных нужд. Выключатели механизмов, принимающих участие в самозапуске должны находиться во включенном состоянии.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.
- Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключатели номинальных первичного и вторичного фазных напряжений трехфазной трансформаторной группы A1 установите соответственно равными 220 и 133 В. Параметры линии электропередачи A2 установите следующими: R = 0 Ом, L/RL = 0,9 Гн/ 24 Ом, C1=C2=0 мкФ.
- Установите в каждой фазе индуктивной нагрузки A3 ее величину, равную 100 %.
- Включите выключатели «СЕТЬ» блоков P1 и P2. Активизируйте мультиметр блока P2.
- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Двигатель M1 окажется подключенным к электрической сети и может прийти во вращение. Если двигатель не запустился, то это говорит о недостаточном уровне напряжения на нем для самозапуска. Одной из учебных задач может быть подбор максимально возможной нагрузки A3, при которой еще обеспечивается самозапуск двигателя M1.
- Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1.
- Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Как вращаются друг относительно друга магнитное поле и ротор в трёхфазном асинхронном двигателе?

2. Как осуществить реверсирование асинхронного двигателя?

3. Чему равно скольжение асинхронного двигателя в первый момент после переключения фаз (при реверсе)?

4. Какие существуют способы пуска трёхфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором?

Лабораторная работа №7. Короткие замыкания в электроустановках. Исследование влияния на статическую устойчивость натурного синхронного генератора вида короткого замыкания в электроэнергетической системе.

Цель работы: Исследовать влияние на статическую устойчивость натурного синхронного генератора однофазных, двухфазных и трехфазных коротких замыканий. Исследовать влияние величины тока возбуждения на статическую устойчивость синхронного генератора при перечисленных видах коротких замыканий.

Основы теории:

Статическая устойчивость – способность энергосистемы возвращаться к установившемуся режиму после малых возмущений режима, при которых изменения параметров очень малы по сравнению с их средними значениями.

Динамическая устойчивость – способность энергосистемы возвращаться к установившемуся режиму работы после значительных возмущений (КЗ, отключение любого элемента энергосистемы и т.п.), при которых изменения параметров режима по сравнению со значениями этих параметров без перехода к асинхронному режиму.

Расчет статической и динамической устойчивости выполняется для:

- выбора основной схемы энергосистемы и уточнения размещения основного оборудования;
- выбора рабочих режимов энергосистем;
- выбора мероприятий по повышению устойчивости энергосистем;
- определения параметров настройки систем регулирования и управления, релейной защиты (РЗ), автоматического повторного включения (АПВ) и др.;
- определения параметров настройки систем ПК, предназначенных для повышения устойчивости энергосистем;
- проверки выполнения нормативных показателей устойчивости.

При определении методов анализа динамической устойчивости оператор системы передачи (ОСП) применяет следующие правила:

Если границы статической устойчивости достигаются ранее границ динамической устойчивости, ОСП с учетом аварийных ситуаций из перечня аварийных ситуаций должен выполнять анализ динамической устойчивости только на основе результатов расчетов динамической устойчивости, выполненных для долгосрочного планирования.

Если при планировании отключений пределы динамической устойчивости достигаются ранее границ статической устойчивости, ОСП с учетом аварийных ситуаций из перечня аварийных ситуаций должен провести анализ динамической устойчивости на этапе оперативного планирования на день вперед, пока эти режимы существуют. ОСП должен подготовить корректирующие действия, которые будут использоваться в случае необходимости во время работы в реальном времени.

Если сеть в режиме реального времени находится в ситуации "N", а границы динамической устойчивости достигаются ранее границ статической устойчивости, ОСП с учетом аварийных ситуаций из перечня аварийных ситуаций должен проводить анализ динамической устойчивости на всех этапах оперативного планирования и быть способным быстрее повторно оценивать пределы динамической устойчивости после существенного изменения режима.

Если анализ динамической устойчивости указывает на нарушение границ устойчивости, ОСП должен разработать, подготовить и активизировать корректирующие действия с целью поддержания устойчивости системы передачи. Эти корректирующие действия могут охватывать пользователей системы передачи / распределения.

ОСП должен настроить оборудование, релейная защита и противоаварийная автоматика таким образом, чтобы при ликвидации нарушений, способных привести к широкомасштабной потери устойчивости системы, был меньше, чем критическое время устранения повреждений, исчисленный ним при анализе динамической устойчивости.

Объектом исследования динамической устойчивости является расчет реакции системы на конкретный набор аварий, обычно однофазных или трехфазных КЗ, которые можно устранить путем отключения линий электропередачи. Выполняется проверка реакции генераторов для того, чтобы убедиться, что все оборудование работает синхронно, затухания колебаний в энергосистеме остаются на допустимом уровне и восстановление напряжения после аварии происходит должным образом.

Моделирование переходных процессов должно учитывать все соответствующие воздействия во временных рамках, представляющих интерес, обычно несколько секунд после возникновения аварии, является объектом анализа переходных режимов. Также необходимо точно воспроизвести реакцию системы учитывая частоту зафиксированных колебаний. Обычно, колебания в энергосистеме возникают в диапазоне от 0,2 до 2 Гц. Также очень важным является моделирование способности (или неспособности) станции контролировать напряжение в этих временных рамках.

Запас статической устойчивости для установившегося режима работы энергосистем определяется его близостью к границе области устойчивости. Этот запас характеризуется

коэффициентами запаса. По условиям статической устойчивости энергосистем нормируют минимальные коэффициенты запаса по активной мощности в сечениях и минимальные коэффициенты запаса по напряжению в узлах нагрузки. Кроме того, устанавливают группы нормативных возмущений, при которых должны обеспечиваться как динамическая устойчивость, так и нормативные запасы статической устойчивости в послеаварийных режимах.

Для определения коэффициента запаса статической устойчивости по активной мощности в сечении схемы выполняются утяжеления режима путем увеличения перетока мощности в сечении до получения предельного по устойчивости режима.

Во время эксплуатации для контроля за соблюдением нормативных запасов статической устойчивости следует, как правило, использовать значение перетоков активной мощности. При необходимости задают как функции перетоков в других сечениях максимально допустимые и аварийндопустимые перетоки. Такие перетоки и напряжение следует считать контролируемыми параметрами. В зависимости от конкретных условий как контролируемые можно использовать другие параметры режима энергосистемы, в частности значения углов между векторами напряжения на концах линии электропередачи. Допустимые значения контролируемых параметров, при которых обеспечивается нормативный коэффициент запаса по активной мощности, устанавливают на основе расчетов соответствующих режимов работы энергосистем.

Для контроля соблюдения нормативных запасов напряжения в эксплуатационной практике можно использовать напряжение в любых узлах энергосистемы. Допустимые значения напряжения в контролируемых узлах устанавливают по расчетам режимов работы энергосистем.

Для получения полной картины по статической устойчивости режимов работы энергоблоков электростанций ОЭС Украины, необходимо осуществить проверку исходных нормальных, ремонтных и послеаварийных режимов колеблющуюся устойчивость с учетом соответствующих математических моделей как самих генераторов, так и их систем возбуждения с АРВ.

Ниже показано скольжение роторов генераторов и напряжений на выходе АРЗ 57 генераторов электростанций Украины. Как видно из этих зависимостей - исходный режим работы всех генераторов статически устойчив.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- ВНИМАНИЕ! ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ВЫПОЛНЯЕТСЯ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТОЕК «Модель электростанции №1» и «Модель электростанции №2». Собрать схему лабораторных испытаний в соответствии с рис.7.1 (питание стенда должно быть ОТКЛЮЧЕНО!). Модуль ввода-вывода используется для измерения фазных токов и напряжений. Для этого, измерительные каналы тока A1, A2, A3 включены последовательно в фазы A, B и C между модулем синхронизации и силовым трансформатором T2. Измерительные каналы по напряжению A4, A5, A6 подключены к клеммам A1, B1, C1 модуля силового трансформатора, измерение напряжений осуществляется относительно общей точки обмоток силового трансформатора T2. На противоположной лабораторной стойке, собрать схему в соответствии с рис.4. Продольную составляющую на модулях линий электропередач установить минимальной (переключатель SA1 в положение 1). Для обеспечения достаточной величины тока однофазного короткого замыкания, нейтрали трансформаторов со стороны ЛЭП и нейтраль самой ЛЭП должны быть объединены. Поперечные составляющие ЛЭП должны быть включены (переключатели SA2 и SA3 в положении 2).
- Перевести переключатели режима управления всех задействованных блоков в положение «Руч». Установить потенциометры задания RP1 модуля частотного преобразователя и модуля возбуждения в крайнее левое положение.
- На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Переходные процессы – Синхронизация генератора с сетью». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.
- Подать питание на стенд (включить автомат модуля питания стенда).
- Включить все задействованные модули, имеющие индивидуальный тумблер подачи питания «Сеть».
- Включить выключатель Q4 (кнопка SB1 на лицевой панели модуля).
- На противоположной лабораторной стойке: включить питание стенда, включить выключатели Q4 и Q7.
- Включить генератор на параллельную работу с сетью (выполнить пункты 7...13 согласно методическим указаниям к лабораторной работе №3).

- Установить исходный режим загрузки синхронного генератора, приблизительно равный половине его номинальной мощности (регулируя задание частотного преобразователя).
- Отрегулировать ток возбуждения для перевода генератора в режим выдачи реактивной мощности (управляя током возбуждения синхронного генератора).
- С помощью автоматических выключателей QF1..QF6, расположенных на лицевой панели модуля короткозамыкателя, выбрать трехфазное короткое замыкание. Провести опыт короткого замыкания (перевести переключатель SA1 модуля короткозамыкателя в положение «Вкл» и через несколько секунд перевести его в положение «Откл») одновременно наблюдая за режимом работы СГ.
- В случае потери устойчивости выполнить действия по ресинхронизации генератора с сетью.
- Повторить опыт при следующих видах коротких замыканий: однофазное, двухфазное, двухфазное на землю. При этом ток возбуждения должен оставаться неизменным ($i_в$ = const).
- Повторить опыты при других значениях тока возбуждения (больше и меньше начального).
- Отключить стенд в соответствии с ПОРЯДКОМ ОТКЛЮЧЕНИЯ СТЕНДА.

<u>ПОРЯДОК ОТКЛЮЧЕНИЯ СТЕНДА:</u>

- Разгрузить генератор по активной мощности до нуля. Для этого, плавно уменьшать напряжение задания частотного преобразователя до тех пор, пока активная мощность генератора не станет равной нулю.
- Разгрузить генератор по реактивной мощности до нуля. Для этого, плавно уменьшать напряжение задания модуля возбуждения до тех пор, пока реактивная мощность не станет равной нулю.
- Отключить выключатель модуля синхронизации (кнопка SB2).
- Снизить ток возбуждения генератора (потенциометр RP1 модуля возбуждения) до нуля.
- Снизить частоту вращения приводного двигателя (потенциометр RP1 модуля частотного преобразователя) до минимального значения (которое задано в настройках частотного преобразователя).
- Отключить выключатель Q7.
- Отключить питание всех модулей.

- Отключить питание стенда.
- Остановить работу программы DeltaProfi кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6.
- Обработать полученные результаты, сделать выводы и оформить отчет по лабораторной работе.

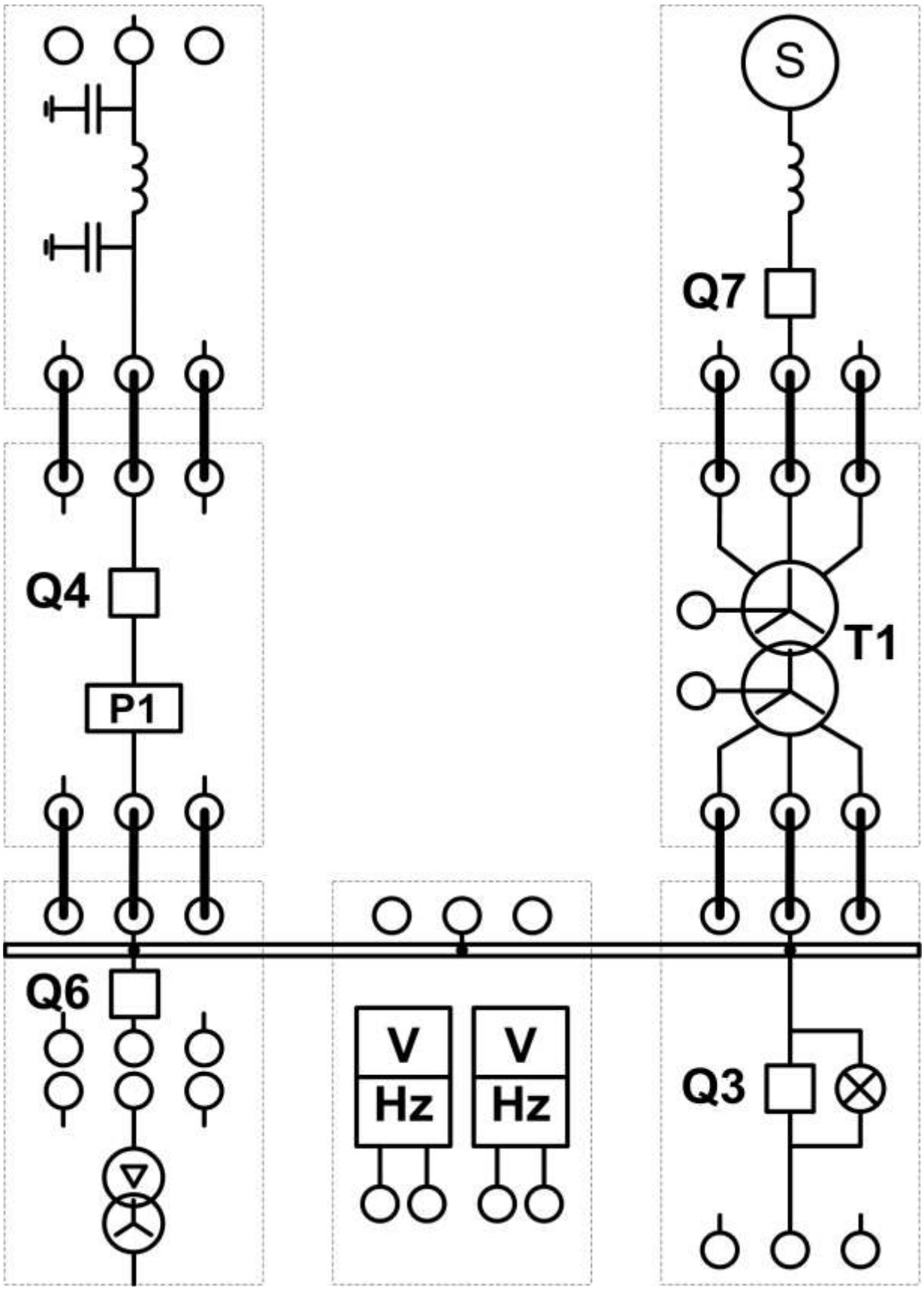


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема лабораторной стойки №1

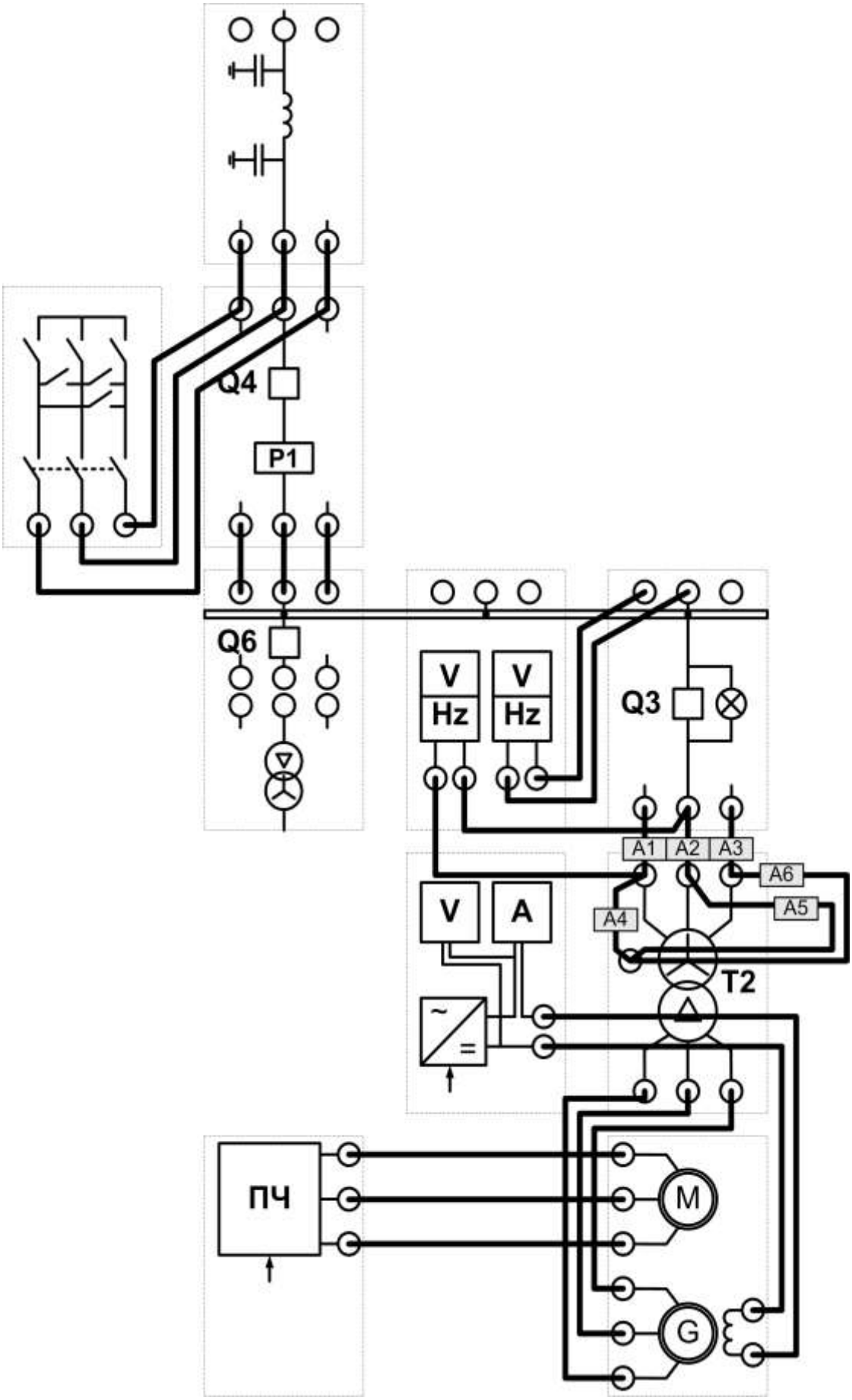


Рисунок 7.2 – Принципиальная схема лабораторной стойки №2

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. По какому практическому критерию определяется статическая устойчивость одномашинной энергосистемы?

2. Почему уменьшается предел статической устойчивости одномашинной энергосистемы при подключении шунтирующего реактора?

3. Почему повышается предел статической устойчивости одномашинной энергосистемы при подключении конденсаторной батареи?

4. Почему в уточненной модели энергосистемы угловые характеристики P1(δ) и 2 P2 (δ) не совпадают?

Лабораторная работа №8. Мониторинг и диагностика оборудования подстанций. Определение соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети, питающейся от источника практически бесконечной мощности.

Цель работы: Приобретение навыков опытного определение соотношение токов КЗ различных видов.

Основы теории:

Коротким замыканием (КЗ) называется соединение между фазами, фазой и землей (нулевым проводом), непредусмотренные нормальными условиями работы сети.

В большинстве случаев причиной возникновения КЗ в системе является нарушение изоляции электрического оборудования вследствие износа изоляции, не выявленного своевременно при профилактических испытаниях, или из-за перенапряжений. КЗ могут быть вызваны ошибочными действиями обслуживающего персонала, механическими повреждениями кабельных линий, схлестыванием, набросом на провода или перекрытием птицами проводов воздушных линий.

При возникновении КЗ общее сопротивление цепи системы электроснабжения уменьшается, вследствие чего токи в ветвях системы резко увеличиваются, а напряжения на отдельных участках системы снижаются.

Короткие замыкания в трехфазных сетях разделяют на трех-, двух-, однофазные и двухфазные на землю, а системы токов и напряжений получаются искаженными. Трехфазное КЗ является симметричным, поскольку при нем все три фазы оказываются в одинаковых условиях. Все остальные виды КЗ являются несимметричными, поскольку фазы оказываются в разных условиях, а системы токов и напряжений получаются искаженными

Короткое замыкание сопровождается переходным процессом. Рассмотрим переходный процесс, возникающий при трехфазном КЗ в цепи, питающейся от источника бесконечной мощности.

Источником бесконечной мощности называется такой источник, на зажимах которого в нормальном режиме и при КЗ сохраняется симметричная и неизменная по величине трехфазная система напряжений. Угол φ между током и напряжением каждой фазы определяется соотношением активных и индуктивных сопротивлений всей цепи, включая нагрузку.

Короткое замыкание делит цепь на две части:

- правую - с сопротивлениями r1 и x1=ωL1 в каждой фазе

- левую - содержащую источник питания и сопротивления цепи КЗ rк и xк=ωLк. Процессы обеих частей схемы при трехфазном КЗ протекают независимо.

Правая часть рассматриваемой цепи оказывается зашунтированной коротким замыканием, и ток в ней будет поддерживаться до тех пор, пока запасенная в индуктивности L энергия магнитного поля не перейдет в тепло, выделяющееся в активном сопротивлении r1. Величина тока при активно–индуктивном характере сопротивление цепи не превысит тока нормального режима, который постепенно затухая до нуля, не представляет опасности для оборудования.

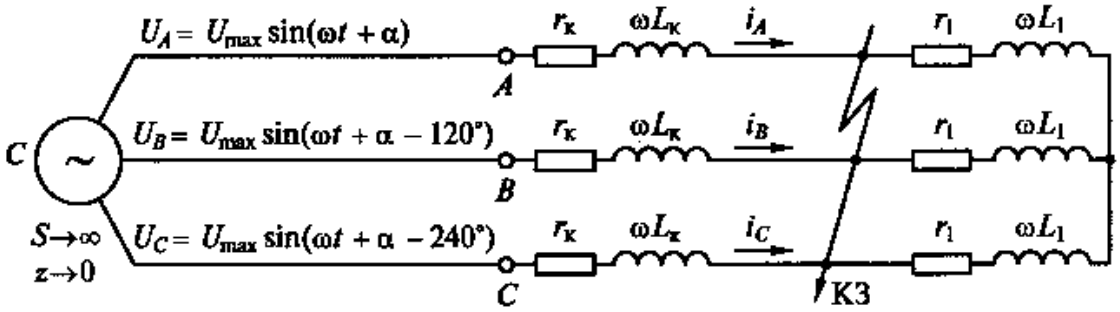


Рисунок 8.1 – Трехфазное КЗ в цепи, питающейся от источника бесконечной мощности

Изменение режима в левой части цепи, содержащей источник питания, при наличии индуктивности Lк также сопровождается переходным процессом. Из курса ТОЭ уравнение этого процесса:

$$u = \imath \cdot r_k + L_k \cdot \frac{d\imath}{dt}$$

Решение этого уравнения даст выражение для мгновенного значения тока в любой момент времени t от начала КЗ.

$$\imath_{kt} = \frac{U_m}{z_k} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k) + \imath_{a0} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$$

$$T_a = \frac{L_k}{r_k} = \frac{x_k}{\omega \cdot r_k}$$

Вынужденная составляющая тока КЗ имеет периодический характер с частотой, равной частоте напряжения источника. Называют эту составляющую обычно периодическим током КЗ. Амплитуда периодической составляющей тока КЗ обозначается как Iпм и определяется отношением Um/zk:

$$\imath_{nt} = \frac{U_m}{z_k} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k) = \mathrm{I}_{nm} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k)$$

Переходный процесс при питании цепи от источника бесконечной мощности завершается после затухания апериодической составляющей тока, и далее полный ток КЗ равен его периодической составляющей, неизменной по амплитуде.

Действующее значение тока для произвольного момента времени КЗ равно:

- периодической составляющей:

$$I_{\ddot{i}t} = I_{\ddot{i}0} = \frac{I_{\ddot{i}m}}{\sqrt{2}} = const$$

- апериодической составляющей

$$I_{at} = \iota_{at}$$

- полного тока КЗ

$$I_{kt} = \sqrt{I_{\ddot{i}t}^2 + \iota_{at}^2}$$

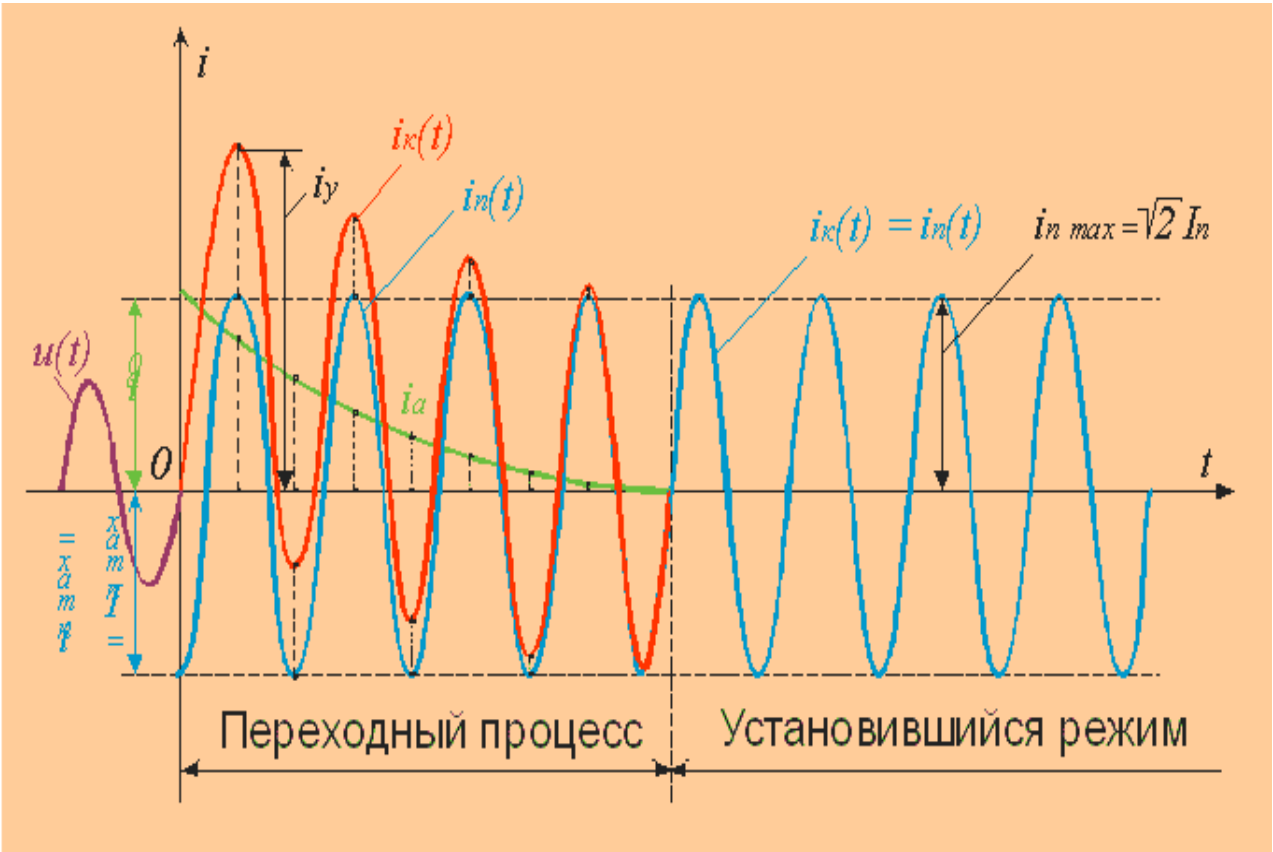


Рисунок 8.2 – Изменение тока трехфазного короткого замыкания и его составляющих для случая возникновения максимального значения апериодической составляющей

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "⏚" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "PE" трехфазного источника питания G1.
- Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Смоделируйте интересующий вид короткого замыкания. Для моделирования трехфазного замыкания соедините точки К1, К2, К3 и К4; двухфазного – К1 и К2; двухфазного на землю – К1, К2 и К4; однофазного – К1 и К4.
- Смоделируйте режим работы нейтралей трансформаторов исследуемой сети. Для моделирования глухозаземленной нейтрали соедините точки N1 (N3) и N2. Для случая изолированной нейтрали оставьте эти точки несоединенными.
- Номинальные фазные напряжения трансформаторов А1 и А5 выберите равными 127 В.
- Выберите мощность индуктивной нагрузки А7 – 100 % от 40 Вар во всех фазах, активной А6 – 10% от 50 Вт во всех фазах.
- Переключатель режима работы выключателя А4 установите в положение «РУЧН.».
- Установите следующие параметры моделей линий электропередачи А2 и А3: R = 200 Ом, L/R = 1,2/32 Гн/Ом, C = 0 мкФ.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А10 и запустите программу «Многоканальный осциллограф».
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения источника G1.
- Включите ключ-выключатель источника G1.
- Для регистрации токов фаз выберите сканирование каналов АСН0-АСН8, АСН2-АСН10, АСН4-АСН12; для регистрации напряжений выберите каналы АСН1-АСН9,

АСН3-АСН11, АСН5-АСН13. Отобразите панель цифровых индикаторов нажатием на виртуальную кнопку 123. Настройте панель на регистрацию действующих значений сигналов. Выберите подходящие множители (0,1 для токов и 200 – для напряжений).

- Для измерения токов и напряжений схемы также можно использовать блок мультиметров P1.
- Нажмите кнопки «ВКЛ» включения сканирования первого, второго и третьего каналов виртуального осциллографа.
- Нажмите кнопку «ВКЛ» источника G1. Включите выключатель «СЕТЬ» трехполюсного выключателя A5.
- Смоделируйте короткое замыкание, нажав кнопку «ВКЛ» трехполюсного выключателя A4. По цифровым индикаторам определите значения установившихся токов и напряжений при коротком замыкании.
- Отключите выключатель A4 нажатием на кнопку «ОТКЛ» на его передней панели.
- Для анализа влияния удаленности точки короткого замыкания от генератора можно изменять положение точки КЗ и параметры моделей элементов.
- ***Внимание! Запрещается моделировать короткие замыкания при суммарном индуктивном сопротивлении линий менее 0,6 Гн. Запрещается моделировать однофазное КЗ на землю при емкостях фаз линий более 0,18 мкФ.***

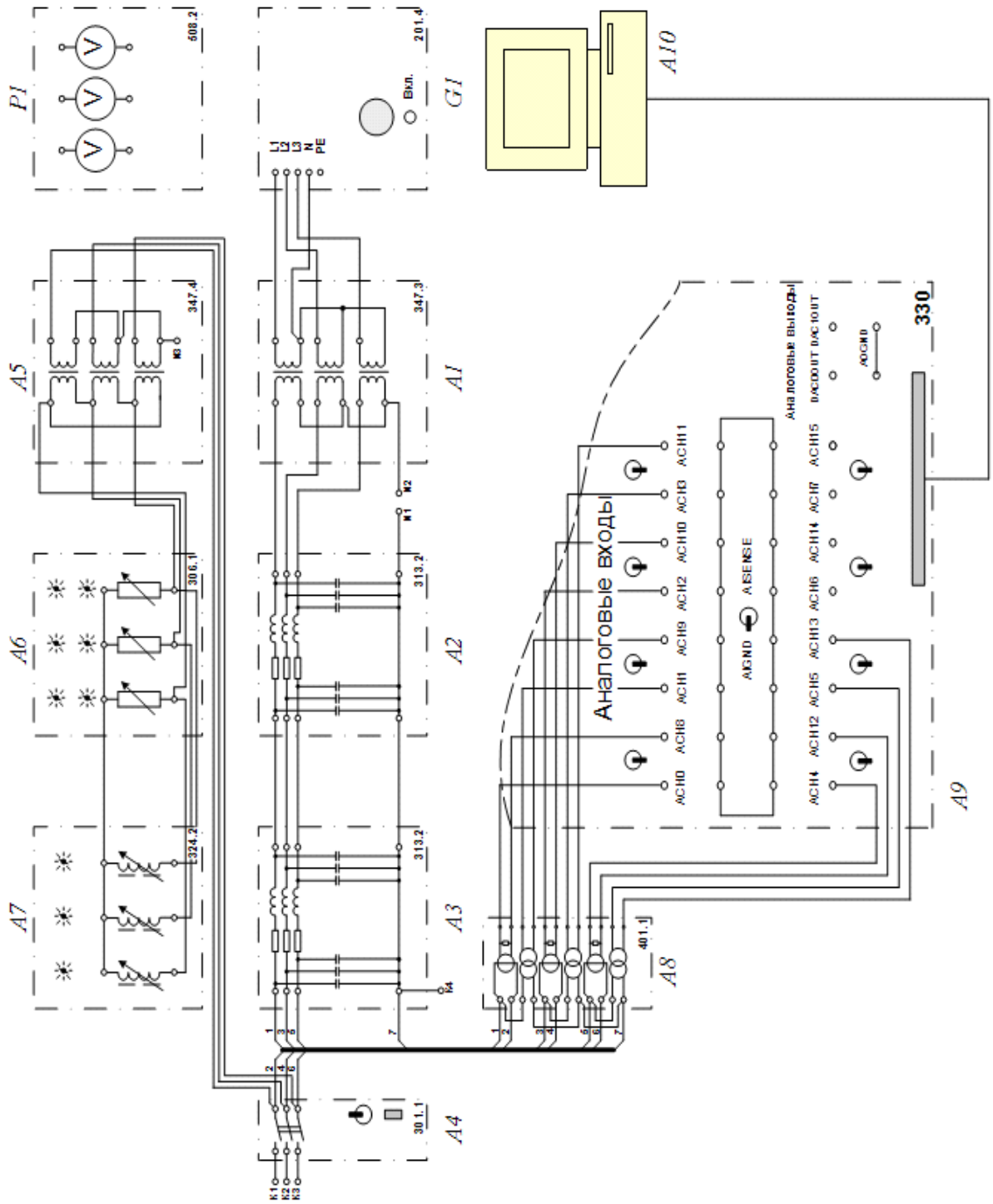


Рисунок 8.3 – Принципиальная схема исследования соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;

4. Описание используемого оборудования и материалов;

5. Порядок выполнения работы;

6. Вычисления и обработка результатов;

7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Каковы причины возникновения КЗ в электроустановках?

2. Чем определяется наличие периодической и апериодической составляющих в токе КЗ?

3. Дайте определение ударного тока КЗ.

4. Через какой промежуток времени после появления КЗ, возникает ударный ток?

5. Какой эффект дает применение быстродействующих устройств релейной защиты и отключающих аппаратов?

6. Какие виды КЗ возможны в сетях с эффективно заземленными и незаземленными нейтралями?

7. Каковы преимущества и недостатки сетей с изолированными, компенсированными, эффективно заземленными и глухо заземленными нейтралями?

8. Какое воздействие на электрооборудование вызывает ток КЗ?

Лабораторная работа №9. Системы измерения, контроля, сигнализации и управления. Диспетчерское управление в электроэнергетических системах.

Цель работы: Изучить принципы реализации системы передачи, обработки и отображения сигналов телеизмерений и теле сигнализации и телеуправления.

Основы теории:

Энергосистема представляет собой единую сеть, состоящую из источников электрической энергии – электростанций, электрических сетей, а также подстанций, которые осуществляют преобразование и распределение произведенной электроэнергии. Для управления всеми процессами производства, передачи и распределения электрической энергии существует система оперативно-диспетчерского управления.

Энергосистема страны может включать в себя несколько предприятий разной формы собственности. Каждое из электроэнергетических предприятий имеет отдельную службу оперативно-диспетчерского управления.

Все службы отдельных предприятий управляются центральной диспетчерской системой. В зависимости от величины энергосистемы центральная диспетчерская система может разделяться на отдельные системы по регионам страны.

Энергосистемы смежных стран могут включаться на параллельную синхронную работу. Центральная диспетчерская система (ЦДС) осуществляет оперативно-диспетчерское управление межгосударственными электрическими сетями, по которым осуществляются перетоки мощностей между энергосистемами смежных стран.

Задачи оперативно-диспетчерского управления энергосистемой:

- поддержание баланса между количеством производимой и потребляемой мощности в энергосистеме;
- надежность электроснабжения снабжающих предприятий от магистральных сетей 220-750 кВ;
- синхронность работы электростанций в пределах энергосистемы;
- синхронность работы энергосистемы страны с энергосистемами смежных стран, с которыми есть связь межгосударственными линии электропередач.

Исходя из вышеперечисленного, следует, что система оперативно-диспетчерского управления энергосистемой обеспечивает ключевые задачи в энергосистеме, от выполнения которых зависит энергетическая безопасность страны.

Организация процесса оперативно-диспетчерского управления (ОДУ) в энергетике осуществляется таким образом, чтобы обеспечить распределение различных функций по нескольким уровням. При этом каждый уровень подчиняется вышестоящему.

Например, самый начальный уровень - оперативно-технический персонал, который осуществляет непосредственно операции с оборудованием в различных точках энергосистемы, подчиняется вышестоящему оперативному персоналу - дежурному диспетчеру подразделения энергоснабжающего предприятия, за которым закреплена электроустановка. Дежурный диспетчер подразделения, в свою очередь подчиняется диспетчерской службе предприятия и т.д. вплоть до центральной диспетчерской системы страны.

Процесс управления энергосистемой организован таким образом, чтобы обеспечить непрерывный контроль и управление всеми составляющими объединенной энергосистемы.

Для обеспечения нормальных условий работы как отдельных участков энергосистемы, так и энергосистемы в целом, для каждого объекта разрабатываются специальные режимы (схемы), которые следует обеспечивать в зависимости от режима работы того или иного участка электрической сети (нормальный, ремонтный, аварийный режимы).

Для обеспечения выполнения главных задач ОДУ в энергосистеме помимо оперативного управления существует такое понятие как оперативное ведение. Все операции с оборудованием на том или ином участке энергосистемы осуществляются по команде вышестоящего оперативного персонала - это процесс оперативного управления.

Выполнение операций с оборудованием в той или иной мере оказывает влияние на работу других объектов энергосистемы (изменение потребляемой или вырабатываемой мощности, снижение надежности электроснабжения, изменение значений напряжения). Следовательно, такие операции должны предварительно согласовываться, то есть выполняться с разрешения того диспетчера, который осуществляет оперативное обслуживание данных объектов.

То есть, в оперативном ведении диспетчера находится все оборудование, участки электрической сети, режим работы которых может измениться в результате операций на оборудовании смежных объектов.

Например, линия соединяет две подстанции А и Б, при этом подстанция Б получает питание от А. Отключение линии со стороны подстанции А осуществляется оперативным персоналом по команде диспетчера данной ПС. Но отключение данной линии должно производиться только по согласованию с диспетчером подстанции Б, так как данная линия находится в его оперативном ведении.

Таким образом, при помощи двух основных категорий - оперативное управление и оперативное ведение, осуществляется организация оперативно-диспетчерского управления энергосистемой и ее отдельными участками.

Для организации процесса ОДУ разрабатываются и согласовываются между собой инструкции, указания и различная документация для каждого отдельного подразделения в соответствии с уровнем, к которому относится та или иная оперативная служба. Для каждого уровня системы ОДУ имеется свой индивидуальный перечень необходимой документации.

Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- На лабораторной стойке «Модель электростанции №1» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №1.
- На лабораторной стойке «Модель электростанции №2» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2.
- Включить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.
- На персональном компьютере централизованного комплекса диспетчерского управления (ЦКДУ) запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Комплекс ДУ – ТСиТИ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.
- На персональном компьютере модели электростанции №1 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №1 – ТСиТИ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.
- На персональном компьютере модели электростанции №2 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №2 – ТСиТИ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

- Исследовать работу электроэнергетической сети в режиме одностороннего питания. Для этого, дистанционно включить выключатели Q6 и Q7 электростанции №1 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции). Аналогичным образом включить выключатель Q6 на электростанции №2. На централизованном комплексе диспетчерского управления подать команды на включение выключателей линии электропередачи W1 со стороны электростанции №1 и №2. Записать текущие значения режимных параметров на электростанциях и ЦКДУ.
- Включить выключатели линии электропередачи W2, подачей дистанционных команд с локальных комплексов управления станциями №1 и №2. Записать изменившиеся значения режимных параметров.
- Исследовать работу электроэнергетической сети в режиме двухстороннего питания. Для этого, перевести тумблер SA1 разрешения работы частотного преобразователя в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, задать уставку по частоте 50Гц, соответствующую частоте вращения приводного двигателя 1500 об/мин. Подать дистанционную команду на включение генераторного выключателя Q3. Включить тумблер подачи питания «Сеть» модуля возбуждения. Плавно повышая сигнал задания потенциометром RP1, установить номинальный ток возбуждения генератора 0,8А. Увеличивая сигнал задания мощности приводного двигателя потенциометром RP1 перевести генератор в режим выдачи активной мощности 50 Вт. Записать текущие значения режимных параметров.
- На ЦКДУ подать дистанционные команды на отключение одной из линий электропередач. Записать изменившиеся значения режимных параметров.

Внимание! При потере устойчивости синхронного генератора, вызванного отключением одной из ЛЭП, необходимо отключить генератор от сети выключателем Q3 (дистанционно, на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции №2).

- Отключить генератор электростанции №2 от сети дистанционной командой отключения выключателя Q3. Перевести потенциометр RP1 модуля возбуждения в крайнее левое положение. Перевести потенциометр RP1 модуля «Преобразователь частоты» в крайнее левое положение. Отключить переключатель «Сеть» источника возбуждения синхронного генератора. Переключатель SA1 разрешения работы частотного преобразователя перевести в среднее положение.

- На ЦКДУ подать команды теле отключения всех выключателей в электроэнергетической системе. Отключить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.
- Остановить работу программ управления на электростанциях №1 и №2 кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6. Аналогичным образом, остановить работу программы управления на ЦКДУ. Внимание! При останове работы программ на локальных комплексах управления электростанциями, программное обеспечение на ЦКДУ выдает сообщение, о том, что один из клиентов информационной сети был отключен. Это не является ошибкой.
- Проанализировать полученные данные, сделать выводы о влиянии параметров электроэнергетической сети на режим работы потребителей и статическую устойчивость синхронных генераторов. Оформить отчет по лабораторной работе. В отчете отразить, какие преимущества дает использование системы телеизмерений, теле сигнализации и телеуправления.

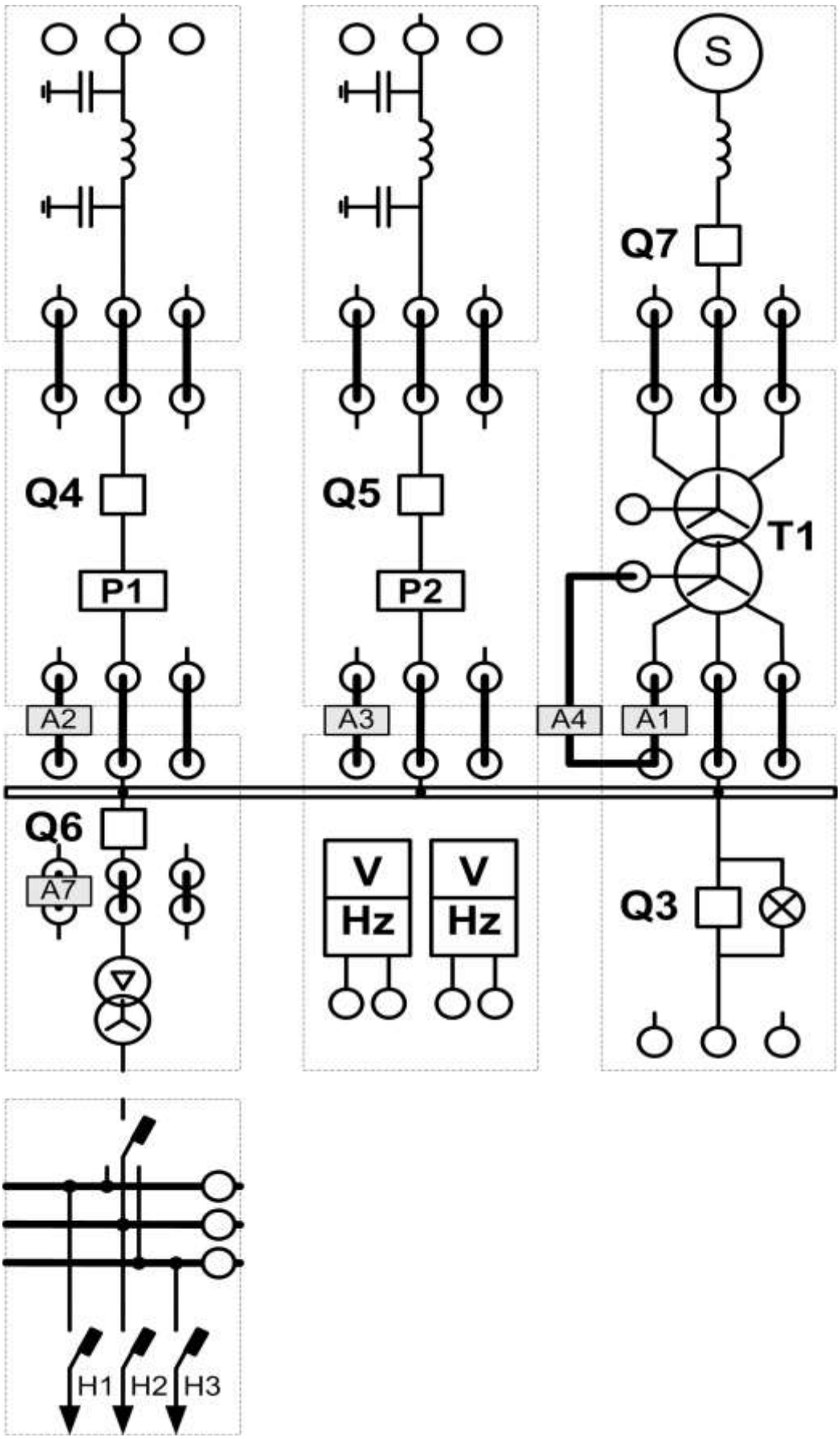


Рисунок 9.1 – Принципиальная схема «Балансирующий узел нагрузкой»

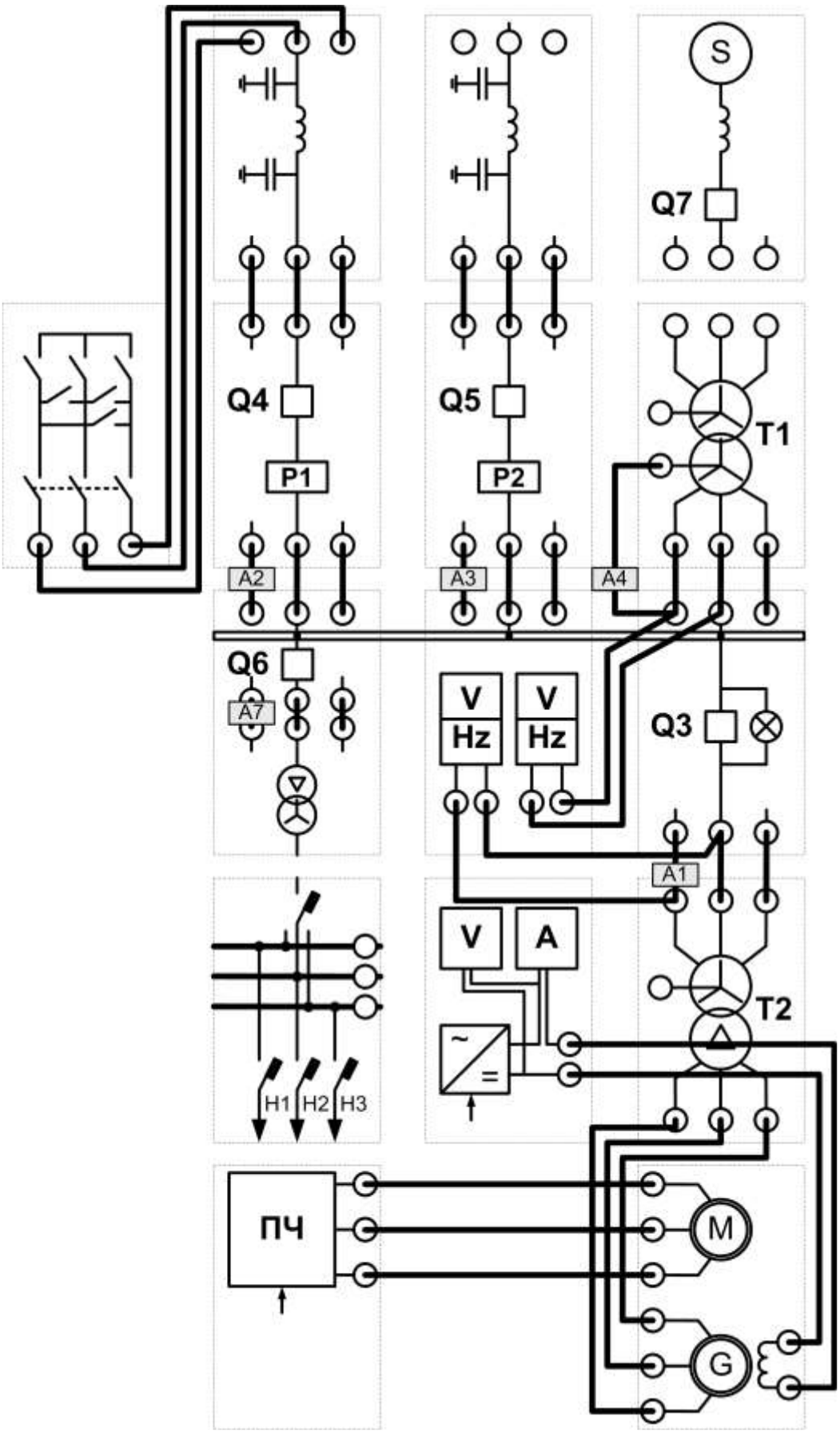


Рисунок 9.2 – Принципиальная схема «Узел с генерацией мощности и нагрузкой»

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

Контрольные вопросы:

1. Какие задачи оперативного контроля и управления?
2. Структура АСКУЭ, построенная с применением ПЭВМ.
3. Развитие систем автоматизации и диспетчеризации СЭС
4. Основные задачи АСДУ?

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Рос-сийской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316

2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции : учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Феде-рации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 61-63 - ISBN 978-5-7410-1542-1 ; То же [Электронный ре-сурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - 2-е изд. доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. - 149 с. : ил. - Библиогр.: с. 114 - ISBN 978-5-9729-0207-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493858

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

3. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. http://www.biblioclub.ru -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. http://www.iprbookshop.ru/ - Электронно- библиотечная система IPRbooks

Приложение А

Указание по технике безопасности

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

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

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

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

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

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

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

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

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

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

7. После того, как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.

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

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

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

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

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

13. Категорически запрещается:

– трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;

– производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;

– заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест

– без разрешения преподавателя или лаборанта;

– отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;

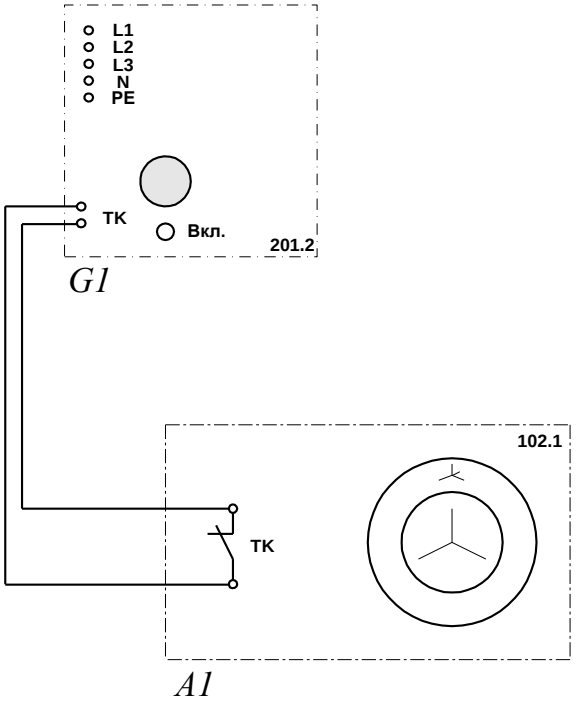
– перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

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

При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни.

Приложение Б

Электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока



Перечень аппаратуры:

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1	Машина переменного тока	102.1	100 Вт / 230 В ~ / 1500 мин⁻
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~ / 16 А

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению курсового проекта
по дисциплине «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель, задачи и реализуемые компетенции	
2.	Задание на курсовое проектирование	
3.	Структура выполнения курсового проекта	
3.1	Характеристика проектируемой подстанции и определение структурной схемы подстанции	
3.1.1	Общие положения	
3.1.2	Разработка структурных схем подстанций и расчет нагрузки	
3.1.3	Выбор мощности силовых трансформаторов	
3.2	Выбор главной схемы электрических соединений	
3.2.1	Общие положения	
3.2.2	Выбор схем распределительных устройств	
3.2.3	Собственные нужды подстанций	
3.3	Выбор сечений проводников воздушных линии	
3.1	Проверка по условиям короны	
3.2	Проверка проводов по падению напряжения	
3.4	Расчет токов короткого замыкания	
3.4.1	Назначение и порядок выполнения расчетов токов короткого замыкания	
3.4.2	Расчет токов КЗ для выбора электрических аппаратов	
3.4.3	Выбор токоограничивающих реакторов	
3.5	Выбор электрических аппаратов	
3.5.1	Общие положения по выбору аппаратов	
3.5.2	Выбор коммутационных аппаратов	
3.5.3	Выбор измерительных трансформаторов	
3.6	Выбор токоведущих частей распределительных устройств	
3.6.1	Общие положения	
3.6.2	Выбор жестких шин	
3.6.3	Выбор гибких шин, токопроводов и комплектных экранированных токопроводов для мощных генераторов	
3.6.4	Выбор кабелей	
3.7	Контрольно-измерительные приборы на электростанциях и подстанциях	
3.8	Релейная защита и автоматика подстанции	

3.9 Мероприятия по охране труда и противопожарной безопасности
3.9.1 Электробезопасность
3.9.2 Общие требования электробезопасности
3.9.3 Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения
3.9.4 Меры безопасности при проведении отдельных работ
3.9.5 Воздушные линии электропередачи
3.9.6 Средства связи, диспетчерского и технологического управления
3.9.7 Охрана труда
3.10 Технико-экономические показатели подстанции
3.11 Разработка чертежа главной схемы электрических соединений подстанции
3.12 Компоновка и конструктивное выполнение распределительных устройств
3.12.1 Классификация РУ, общие требования, порядок проектирования РУ
4 Общие требования к написанию и оформлению работы.
5 Последовательность выполнения задания
6 Критерии оценивания работы
7 Порядок защиты работы
Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
Приложения

Введение

Курсовое проектирование является одним из важных и перспективных видов учебного процесса, позволяя проявить индивидуальный творческий подход к решению поставленной задачи. В методическом указании рассмотрено проектирование распределительной понизительной подстанции

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Электрические станции и подстанции» и предназначены для студентов направления подготовки бакалавриата 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

В методическом указании даны общие сведения из теории, требования к оформлению и содержанию проекта, задание на проектирование, необходимые методические указания к расчету, приводятся электрические схемы и справочный материал, представлен список рекомендуемой литературы.

Цель, задачи и реализуемые компетенции

Целью работы является закрепление и углубление теоретических знаний, полученных в результате изучения дисциплины «Электрические станции и подстанции» и смежных с ней, а также получение навыков технико-экономических расчетов.

Основными задачами данного курсового проекта является закрепление и углубление знаний, полученных по дисциплине «Электрические станции и подстанции» и смежных с ней, получение навыков инженерных и технико-экономических расчетов.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-$1_{ПК-1}$ Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем	Знает схемо-техническое исполнение электрооборудования станций и подстанций; современные аналитические методы и модели комплексного инженерного анализа. Умеет обосновывать технические решения при разработке схем распределения и передачи электрической энергии; применять современные методы и средства исследования для решения конкретных задач.
	ИД-$2_{ПК-1}$ Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения	Владеет навыками правильно выбирать электрические схемы станций и подстанций с учетом особенностей их работы и требований потребителей.
ПК-2 Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения	ИД-$1_{ПК-2}$ Рассчитывает параметры электрооборудования систем	Знает общие закономерности производства, передачи и распределения электрической энергии; основные конструктивные и режимные особенности электрических станций (тепловых, атомных, гидравлических)

		и подстанций, распределительных сетей. Умеет рассчитывать основные параметры схем электрических станций и подстанций, учитывать особенности режимов работы различных станций и подстанций.
	ИД-2$_{ПК-2}$ Рассчитывает режимы работы систем электроснабжения	Владеет навыками расчёта параметров оборудования станций и подстанций; методами расчета токов короткого замыкания симметричного и несимметричного режимов.
	ИД-5$_{ПК-2}$ Применяет инженерно-технические расчеты для решения задач профессиональной деятельности	Умеет проводить инженерно-технические расчеты с помощью прикладного программного обеспечения. Владеет навыками использования прикладных программ для выполнения инженерно-технических расчетов в профессиональной сфере.

Задание на курсовое проектирование

Образец листа задания

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физики, электротехники
и электроэнергетики
_____
_____

Институт Пятигорский (филиал) СКФУ
Кафедра физики, электротехники и электроэнергетики
Направление 13.03.02 Электротехника и электроэнергетика
Направленность Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

ЗАДАНИЕ

на курсовой проект

Студента : _____
(фамилия, имя, отчество)

По дисциплине «Электрические станции и подстанции»

1. Тема работы: «Проектирование распределительной понизительной подстанции»

2. Цель: Выполнить проектирование электроподстанции

3. Перечень подлежащих разработке вопросов:
– Разработка структурных схем подстанций.
– Выбор мощности силовых трансформаторов.
– Собственные нужды подстанций.
– Выбор главной схемы электрических соединений.
– Выбор схем распределительных устройств.
– Выбор сечений проводников воздушных линий.
– Проверка по условиям короны.
– Проверка проводов по падению напряжения.
– Расчет токов короткого замыкания.
– Выбор электрических аппаратов.
– Выбор коммутационных аппаратов.
– Выбор измерительных трансформаторов.
– Выбор токоведущих частей распределительных устройств.
– Выбор гибких и жестких шин.
– Выбор силовых кабелей.
– Контрольно-измерительные приборы на подстанциях.
– Релейная защита и автоматика подстанции.
– Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения.
– Охрана труда.
– Технико-экономические показатели подстанции.
- выполнить 2 листа графической части проекта:
1) однолинейная электрическая схема подстанции;

2) компоновка подстанции.

4. Исходные данные:

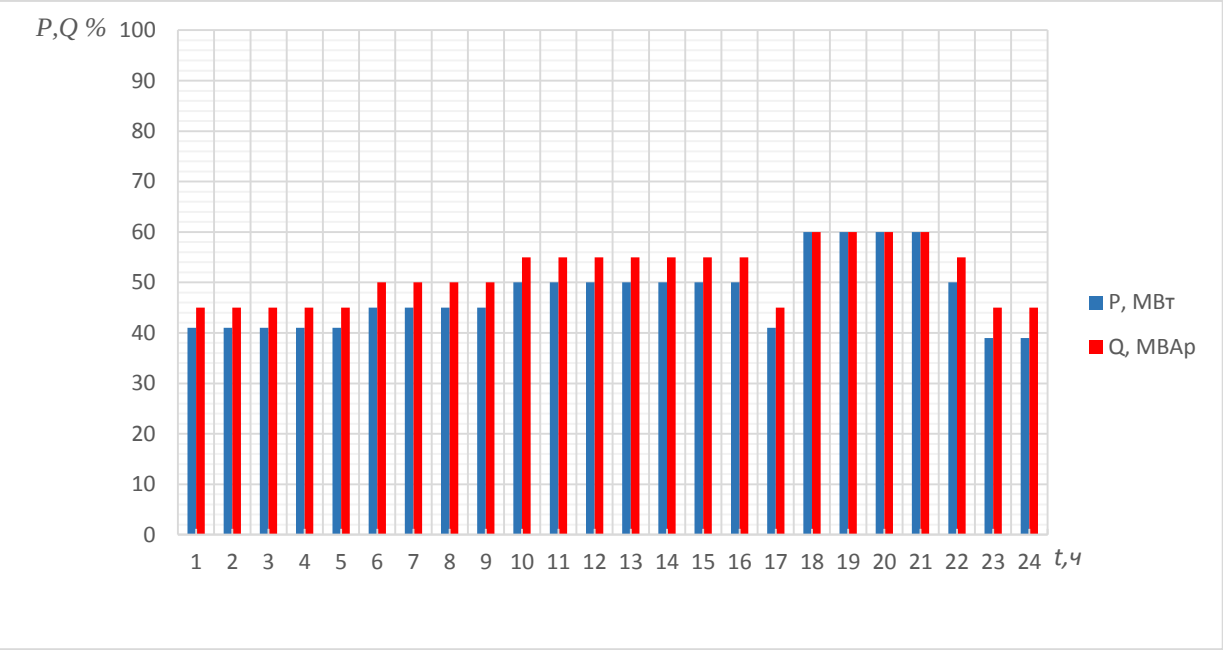
4.1 Характеристика проектируемой подстанции:

Вариант – ___

P_{max} = _____ кВт, Q_{max} = _____ кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – ___; 2-ая – ___; 3-ая – ___.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – _____,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = ____ с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = ____ МВт,

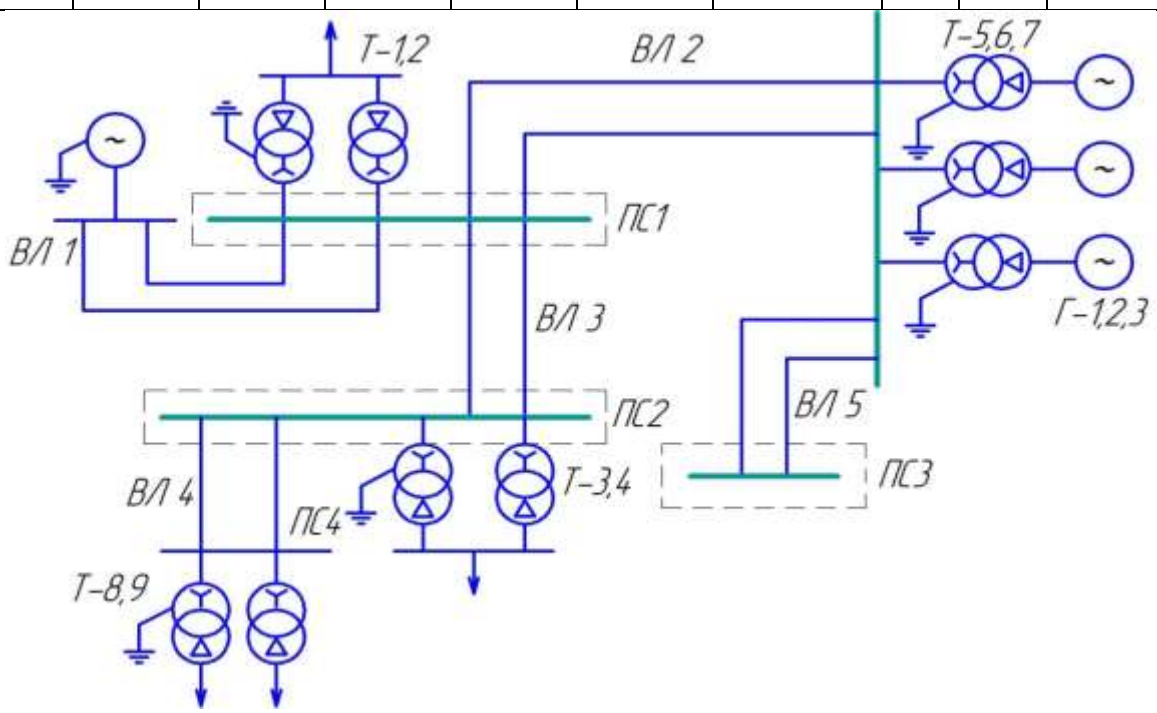
Число отходящих линий НН подстанции – ___.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – _____,

Параметры системы

Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9



5. Перечень рекомендуемой литературы

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316

2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции : учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 61-63 - ISBN 978-5-7410-1542-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847

3. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - 2-е изд. доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. - 149 с. : ил. - Библиогр.: с. 114 - ISBN 978-5-9729-0207-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493858

6. Контрольные сроки представления отдельных разделов курсовой работы:

25% - _____ «___»_____ 20__ г.
50% - _____ «___»_____ 20__ г.
75% - _____ «___»_____ 20__ г.
100% -_____ «___»_____ 20__ г.

7. Срок защиты студентом курсового проекта «___»_____ 201__ г.

Дата выдачи задания «___»_____ 201__ г.
Руководитель курсового проекта

_____/_____/
(учетная степень, звание)(личная подпись)(инициалы, фамилия)

Задание принял к исполнению студент _____формы обучения _____курса
_____группы_____
(*личная подпись)(инициалы, фамилия)*

Структура выполнения курсового проекта

Курсовой проект должен состоять из введения, теоретической части, эмпирической (практической, расчетно-графической) части, заключения, списка литературы и приложения.

Структура курсового проекта состоит из следующих обязательных элементов:

1. ***Титульный лист*** оформляется в соответствии с *Приложением 3.*
2. ***Задание на курсовой проект*** *Приложение 2*
3. ***Содержание***
4. ***Введение***
5. ***Часть 1*** – Теоретическая

Теоретическая часть должна содержать анализ состояния изучаемой проблемы на основе обзора научной, научно-информационной, справочной литературы. Представленный материал должен быть логически связан с целью исследования. В параграфах теоретической части необходимо отражать отдельные компоненты проблемы и завершать их выводами.

6. ***Часть 2***– Проектная

– Разработка структурных схем подстанций.

– Выбор мощности силовых трансформаторов.

– Собственные нужды подстанций.

– Выбор главной схемы электрических соединений.

– Выбор схем распределительных устройств.

– Выбор сечений проводников воздушных линий.

– Проверка по условиям короны.

– Проверка проводов по падению напряжения.

– Расчет токов короткого замыкания.

– Выбор электрических аппаратов.

– Выбор коммутационных аппаратов.

– Выбор измерительных трансформаторов.

– Выбор токоведущих частей распределительных устройств.

– Выбор гибких и жестких шин.

– Выбор силовых кабелей.

– Контрольно-измерительные приборы на подстанциях.

– Релейная защита и автоматика подстанции.

– Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения.

– Охрана труда.

– Технико-экономические показатели подстанции.

Графическая часть выполняется на 2-х листах формата А1 в соответствии с требованиями ГОСТа и ЕСКД:

- Однолинейная электрическая схема подстанции;
- Компоновка подстанции.

Список использованных источников и литературы

Список использованных источников и литературы должен быть составлен в соответствии с требованиями ГОСТа к оформлению библиографии

Приложения

Приложение содержит весь фактический материал экспериментальных исследований (схемы, чертежи).

Каждое приложение надо начинать с новой страницы. Приложения имеют общую с остальной частью работы сквозную нумерацию страниц.

Заголовок «Приложение» пишется в верхнем правом углу. Все приложения нумеруются, например: Приложение 2. Если приложение одно, то его не нумеруют.

Если Приложение имеет заголовок, который пишется посередине с прописной буквы отдельной строкой.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТИРУЕМОЙ ПОДСТАНЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПОДСТАНЦИИ

Общие положения

При проектировании электрической подстанции первоначально составляются структурные схемы, в которых определяется состав основного оборудования (силовые трансформаторы) и связи между ним и распредустройствами (РУ) разных напряжений. Одновременно с выбором основного оборудования определяются и схемы, в которых оно будет работать.

Разработка структурных схем подстанций и расчет нагрузки

Подстанции по способу подключения делят на тупиковые, ответвительные, проходные и узловые. На рис.1. приведены структурные схемы понизительных подстанций. Электроэнергия от энергосистемы поступает в РУ высокого напряжения (ВН) подстанции, затем трансформируется и распределяется между потребителями в РУ низкого напряжения (НН) (рис.1, *а*).

Узловые подстанции не только осуществляют питание потребителей, но и связывают отдельные части энергосистемы. В этом случае на подстанции, кроме РУ низкого напряжения сооружаются РУ высокого и среднего напряжения (СН) и устанавливаются автотрансформаторы (рис.1, *б*) или трехобмоточные трансформаторы (рис. 1, *в*).

Число трансформаторов на подстанциях выбирается в зависимости от ответственности потребителей, а также наличия резервных источников питания в сетях среднего и низких напряжений.

Так как большей частью от подстанций питаются потребители всех трех категорий и питание от системы подводится лишь со стороны ВН, то по условию надежности требуется установка не менее двух трансформаторов.

Нагрузка подстанции определяется мощностью, потребляемой всеми присоединенными к ней электроприемниками и потерями в электросети. Режим работы электроприемников, зависящий от их назначения и степени использования, не остается постоянным и изменяется в различные часы суток и месяцы года, изменяется и потребляемая ими электрическая мощность.

Обычно изменение нагрузки электроприемника (например, цеха) или группы электроприемников принято изображать в виде суточного графика нагрузок [P и $Q = f(t)$].

Суточный график нагрузок может быть построен экспериментально, например, по часовым показаниям счетчиков активной и полной энергии, или задан.

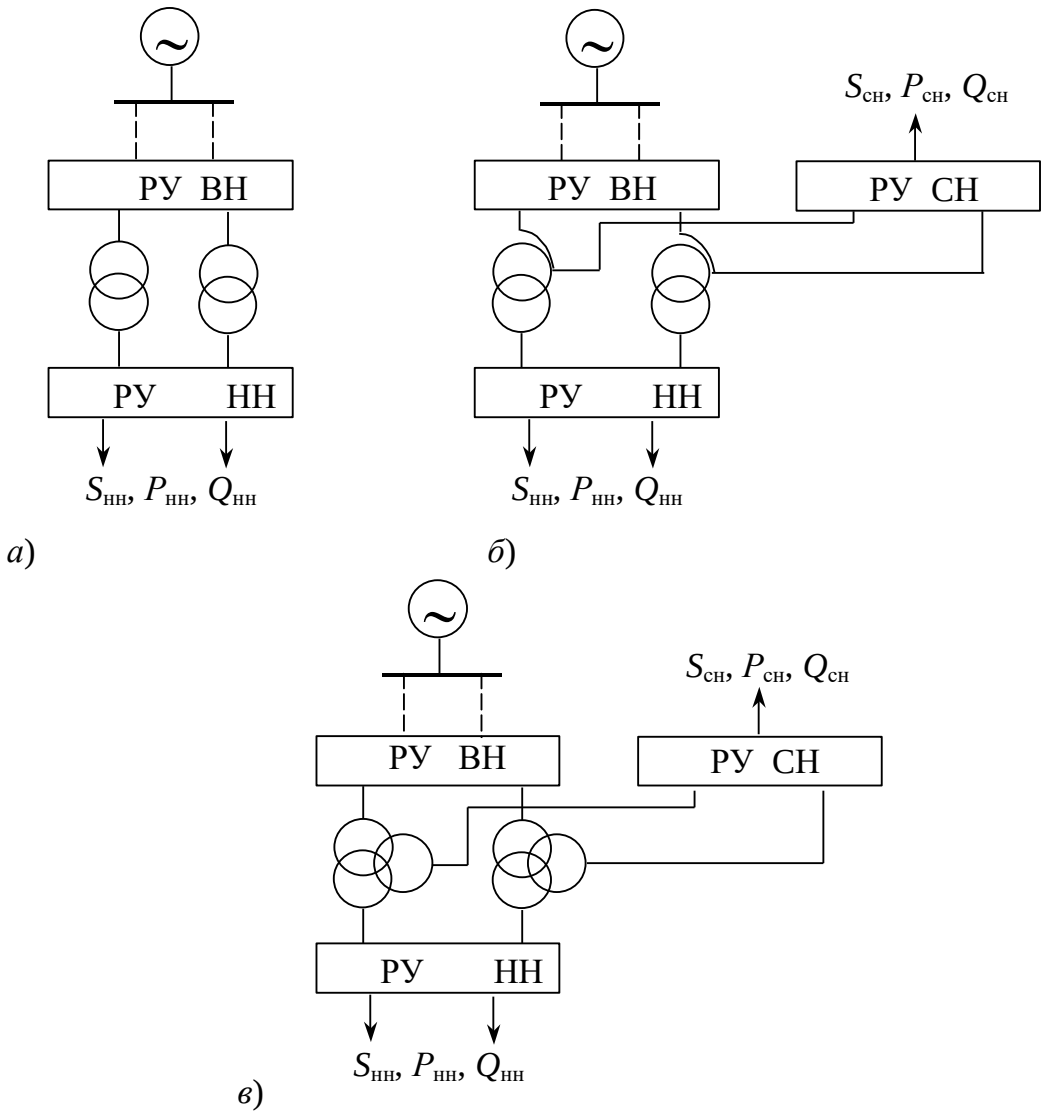


Рисунок 1 – Структурные схемы подстанций

По графику нагрузок определяют максимальную активную и реактивную мощности:

$$P_{\max} = \frac{W_a}{T},$$

где: W_a - показания счетчика активной энергии за время наибольшей потребляемой мощности T.

Максимальная полная мощность:

$$S_{\max} = \frac{W_П}{T},$$

где: $W_П$ - показания счетчика полной энергии за то же время T.

Максимальная реактивная мощность:

$$Q_{\max} = S_{\max} \cdot \sin\varphi,$$

где: $\sin\varphi = \sqrt{1-\cos\varphi^2}$, а $\cos\varphi = \frac{W_{a\max}}{W_{П\max}}$.

В курсовом проекте суточный график активной и реактивной нагрузок подстанции строится по заданию и значениям максимальной активной и реактивной мощности за 1 час. Пример график суточной активной и реактивной нагрузок подстанции представлен на рисунке 2.

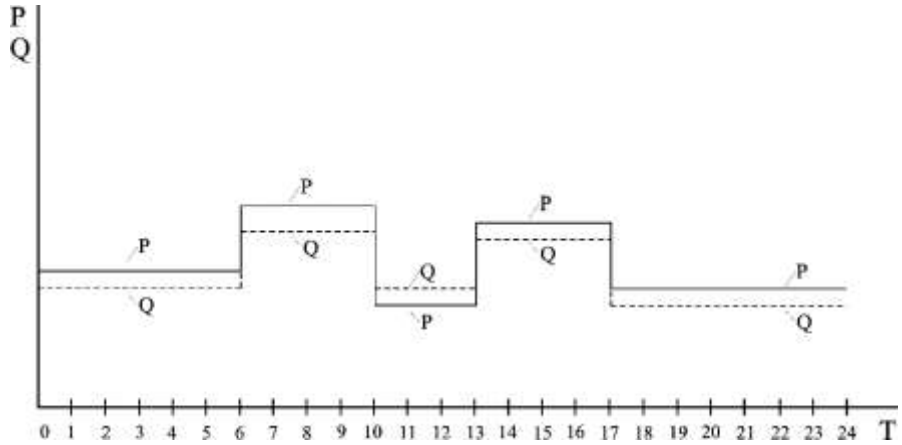


Рисунок 2 – Пример графика суточной активной и реактивной нагрузок подстанции

Если график нагрузок P и $Q = f(T)$ задан, то расход активной энергии за сутки определяется по площади графика активной энергии за сутки

$$W_{a\,сут} = \sum P_i \cdot T_i \text{ (кВт·ч).}$$

Средняя активная мощность за сутки

$$P_{ср} = \frac{W_{a\,сут}}{24}.$$

Коэффициент заполнения графика

$$K_{з.а} = \frac{P_{ср}}{P_{\max}} < 1.$$

Коэффициент заполнения графика по активной мощности $K_{з.а}$ показывает во сколько раз средняя активная мощность (или потребленное количество активной энергии) меньше максимальной мощности или меньше того количества электроэнергии, которое было бы потреблено за то же время, если бы нагрузка подстанции все время была максимальной.

По результатам построения суточного графика активной и реактивной нагрузок строится годовой график по продолжительности нагрузок. Его применяют в расчётах технико - экономических показателей электроустановок, расчётах потерь электроэнергии, при оценке использования оборудования в течение года.

Построение годового графика по продолжительности нагрузок производится на основании двух известных суточных графиков – зимнего и летнего.

Для средней полосы России режим работы подстанции по зимнему графику 212 дней, а по-летнему – 153 дня. В задании курсового проекта нет разделения на зимний и летний суточный график нагрузки, поэтому используем полные 365 дней.

Исходные данный для построения годового графика по продолжительности заносим в типовую таблицу 1.

Таблица 1 – Данные годового графика

P_{iM} ,МВт	Дни(в году)	Время, ч (по сут. графику)	Часов в год	Полная энергия, МВт·ч
Итого	365	24	8760	

Пример годового графика нагрузки представлен на рисунке 3.

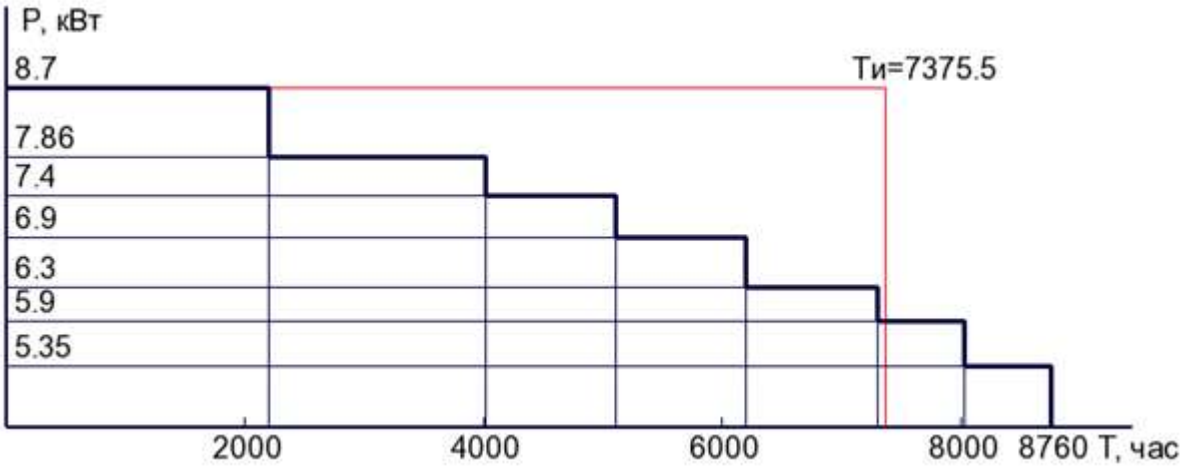


Рисунок 3 – Годовой график по продолжительности

По данным годового графика определим среднюю нагрузку подстанции:

$$P_{ср} = W_{год} / \ 8760 ,$$

где $W_{год}$ – полная потребляемая энергия за год, МВ·А·ч.

$W_{год}$ определяется как :

$$W_{год} = \sum_{1}^{n} (P_i \cdot T_i)$$

где P_i и T_i, соответственно мощность и время i-ой ступени годового графика.

Время использования максимальной активной нагрузки за год:

$$T_{max,a} = W_{a,год} / P_{max}$$

Время максимальных потерь определяется по формуле:

$$\tau_{нб} = (0.124 + T_{max,a} / 10000)^2 \cdot 8760$$

Выбор мощности силовых трансформаторов

Номинальную мощность трансформаторов определяют по условию

$$S_{ном.тр} \geq \frac{S_{MAX}}{n \cdot k_з},$$

где n – количество трансформаторов;

$k_з$ – коэффициент загрузки трансформаторов. Для двух трансформаторной подстанции $k_з = 0{,}65 - 0{,}8$.

При установке на подстанции более одного трансформатора (n) расчетным является случай отказа одного из трансформаторов, когда оставшиеся в работе трансформаторы с учетом их аварийной перегрузки должны передать всю необходимую мощность:

$$S_{MAX} \leq S_{ном.тр} \cdot k_{пав},$$

где $k_{пав} = 1{,}4$ – коэффициент аварийной перегрузки трансформаторов. Такая перегрузка допускается в течение 5 суток при условии, что коэффициент предшествующей нагрузки $k_з$ не более 0,93 и длительность перегрузки не более 6 ч.

Расчет перегрузочной способности выбранного трансформатора необходимо провести в соответствии с ГОСТ 14209-85.

Для ограничения токов короткого замыкания на низком напряжении целесообразно применять трансформаторы с большими значениями напряжения короткого замыкания $U_к$. При мощностях 40 и более МВ·А для ограничения токов КЗ целесообразно применение трансформаторов с расщепленной обмоткой низкого напряжения.

Для ограничения токов короткого замыкания (в случае необходимости) со стороны обмотки низкого напряжения трансформатора может устанавливаться одинарный или сдвоенный реакторы. Методика выбора токоограничивающего реактора изложена в п.7.

ВЫБОР ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Общие положения

Выбор главной схемы является определяющим при проектировании электрической части подстанции, так как она определяет полный состав элементов (трансформаторов, линий, коммутационной и другой первичной аппаратуры) и связей между ними.

Для выбора главной схемы электрических соединений должны быть заданы (или определены в результате промежуточных расчетов) следующие данные: напряжения, на которых выдается электроэнергия; схема сетей и число линий на каждом напряжении; величина перетоков мощностей между РУ разных напряжений.

На предварительном этапе разработке главной схемы электрических соединений (разработка структурной схемы) определяется число и мощность трансформаторов, связь между РУ разных напряжений.

В зависимости от конкретных условий намечается 2-3 близких варианта схемы. Для каждого из них определяются:

– методы ограничения токов короткого замыкания;

– схемы РУ на всех напряжениях;

– основное и резервное питание собственных нужд.

Выбор схем распределительных устройств

На выбор электрической схемы РУ влияет множество факторов, из которых основные: номинальное напряжение; число присоединений; их мощность; схема сети, к которой присоединяется данное РУ; очередность сооружения и перспектива дальнейшего расширения.

При выборе схем руководствуются рекомендациями, которые даются в Нормах технологического проектирования (НТП). В соответствии с рекомендациями подбирают конкурентоспособные варианты схем РУ (табл. 3) и в результате технико-экономического сравнения принимают наиболее подходящие схемы.

Количество отходящих линий определяется исходя из дальности передачи и экономически целесообразных величин передаваемых мощностей:

$$n_{\text{лэп}} \geq \frac{P_{\text{ру}}}{P_{\text{л}}},$$

где $P_{\text{ру}}$ – величина активной мощности на *i*-ой стороне распределителя устройства;

$P_{\text{л}}$ – предел передаваемой активной мощности по одноцепной линии.

В таблице 2 даны пределы передаваемой мощности ($P_{\text{л}}$) и длины ЛЭП различного класса напряжений.

В зависимости от числа присоединений и номинального напряжения принимаются возможные схемы РУ.

Таблица 2

Напряжение линии, кВ	6–10	35	110	220
Наибольшая длина передачи, км	10–15	50–60	50–150	150–250

Наибольшая передаваемая мощность на одну цепь, МВт	3–5	10–20	25–50	110–200

Распределительные устройства 6–10 кВ входят в состав подстанций как главные распредустройства. От РУ отходит значительное число линий (фидеров) к местным потребителям. В РУ 6–10 кВ подстанций применяется одиночная секционированная система шин. Типовые схемы электрических соединений РУ низшего напряжения приведены на рис. 3.

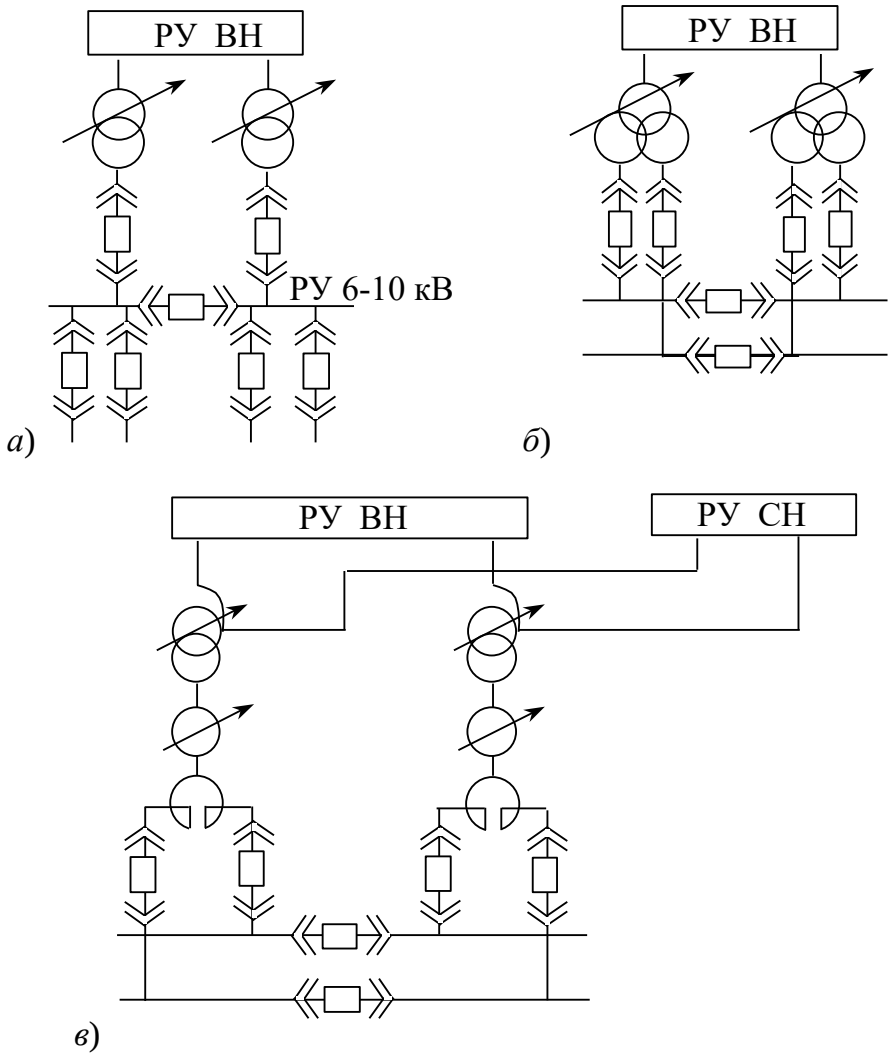
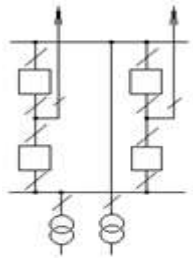
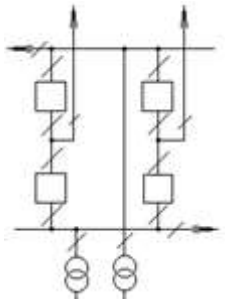


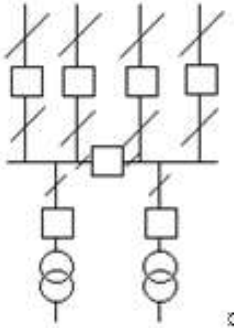
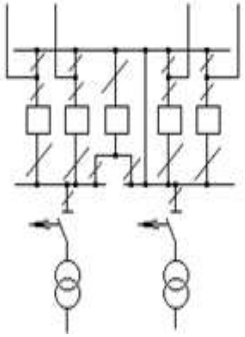
Рисунок 3 – Схемы электрических соединений РУ низкого напряжения

В курсовом проекте рассматриваются возможные варианты схем РУ и в результате технико-экономического сравнения принимают наиболее рациональную схему. При прочих равных условиях предпочтение отдается схеме, в которой отключение цепей осуществляется меньшим числом выключателей.

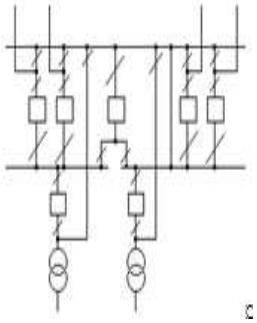
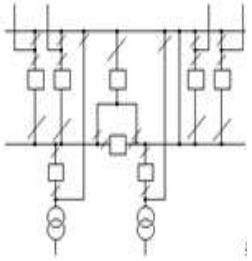
Таблица 3

Варианты схем распределительных устройств						
Номер схемы	Электрические схемы РУ	Наименование схемы	Область применения			Дополнительные условия применения
			Напряжение, кВ	Сторона подстанции	Количество присоединяемых линий	
1		Четырёхугольник	220-750	ВН	2	На напряжении 220 кВ – при невыполнении условий для применения схем 1 и 2
2		Расширенный четырёхугольник	220-330	ВН	4	1. Отсутствие перспективы увеличения количества линий 2. Наличие двух ВЛ, не имеющих ОАПВ

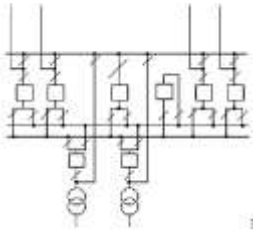
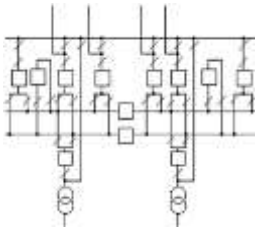
Продолжение таблицы 3

Варианты схем распределительных устройств						
Номер схемы	Электрические схемы РУ	Наименование схемы	Область применения			Дополнительные условия применения
			Напряжение, кВ	Сторона подстанции	Количество присоединяемых линий	
3		Одна секционная система шин	35	ВН, СН, НН	8	---------
4		Расширенный четырёхугольник	110	ВН	До 4	.1. Количество радиальных ВЛ не более одной на секцию 2. Возможность деления РУ на время ремонта любого выключателя 3. Отсутствие перспективы увеличения количества ВЛ

Продолжение таблицы 3

Варианты схем распределительных устройств						
Номер схемы	Электрические схемы РУ	Наименование схемы	Область применения			Дополнительные условия применения
			Напряже-ние, кВ	Сторона подстанции	Количество присо-единяемых линий	
5		Одна секционированная система шин с обходной с совместным секционным и обходным выключателями	110-220	ВН, СН	До 4	1. Количество радиальных ВЛ не более одной на секцию 2. Возможность деления РУ на время ремонта любого выключателя
6		Одна секционированная система шин с обходной с от-делительными секционным и обходным выключателями	110-220	ВН, СН	5-13	Количество радиальных ВЛ не более одной на секцию

Продолжение таблицы 3

Варианты схем распределительных устройств						
Номер схемы	Электрические схемы РУ	Наименование схемы	Область применения			Дополнительные условия применения
			Напряже-ние, кВ	Сторона подстанции	Количество прис-оединяемых линий	
7		Две несекционирован-ные системы шин с обходной	110-220	ВН, СН	5-13	При выполнении условий для применения схемы 10
8		Две секционирован-ные системы шин с обходной	110-220	СН	Более 13	--------

В курсовом проекте рассматриваются возможные варианты схем РУ и в результате технико-экономического сравнения принимают наиболее рациональную схему. При прочих равных условиях предпочтение отдается схеме, в которой отключение цепей осуществляется меньшим числом выключателей.

Собственные нужды подстанций

Мощность потребителей СН подстанций невелика, поэтому они питаются от сети 380/220 В, которая получает питание от понижающих трансформаторов. На двухтрансформаторных подстанциях 35–220 кВ устанавливаются два ТСН, мощность которых выбирают в соответствии с нагрузками, с учетом допустимой перегрузки ($k_n = 1{,}3$) при выполнении ремонтных работ и отказах одного из трансформаторов. Предельная мощность ТСН – 630, 1000 кВ·А. Присоединение ТСН к сети зависит от системы оперативного тока. Постоянный оперативный ток используют на всех подстанциях 330–750 кВ и выше и на подстанциях с РУ 110-220 кВ со сборными шинами. Переменный или выпрямленный – на подстанциях с РУ 35–220 кВ без выключателей высокого напряжения. На подстанциях 110 кВ и выше с переменным и выпрямленным оперативным током ТСН присоединяются к выводам 6–10 кВ главных трансформаторов до их выключателей через предохранители; на подстанциях 35 кВ – к питающей линии через предохранители. На подстанциях с постоянным оперативным током ТСН подключаются через предохранители или выключатели к шинам РУ 6–35 кВ или к обмотке 6–35 кВ трансформаторов.

ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИИ

Выбор сечения проводников воздушных линий (ВЛ) производится по экономической плотности тока.

Сечение проводника определяется по формуле

$$F_э = \frac{I_{раб}}{j_э},$$

где $I_{раб}$ – длительный рабочий ток нормального режима (без перегрузок), А;

$j_э$ – нормированная экономическая плотность тока, $А/мм^2$ [4, с. 267].

Сечение, найденное по формуле 4., округляется. При этом принимается ближайшее меньшее сечение, если оно не отличается от расчетного значения больше чем на 15 %.

Выбранные по экономической плотности тока проводники проверяются:

– по длительно допустимому току из условий нагрева

$$I_{раб.max} \le I_{дл.доп.},$$

где $I_{раб.max}$ – максимальный рабочий ток;

$I_{дл.доп}$ – длительно допустимый ток выбранного проводника;

– по короне;

– по потере напряжения.

Проверка по условиям короны

Эта проверка необходима для гибких проводников при напряжении 35кВ и выше. Разряд в виде короны возникает вокруг провода при высоких напряженностях электрического поля E и сопровождается свечением и потрескиванием. Процессы ионизации воздуха приводят к дополнительным потерям энергии, возникновению радиопомех и образованию озона, вредно влияющего на поверхности контактных соединений. Правильный выбор проводников должен обеспечить уменьшение действия короны до допустимых значений. Рассмотрим порядок расчета для выбора сечения проводников по условиям короны.

Разряд в виде короны возникает при максимальном значении начальной критической напряженности электрического поля E_0, $кВ/см$:

$$E_0 = 30{,}3m\left(1 + \frac{0{,}3}{\sqrt{r_0}}\right),$$

где m - коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности провода (для многопроволочных проводов $m = 0{,}82$);

r_0 – радиус провода, см.

Действительная напряженность электрического поля около поверхности нерасщепленного провода

$$E = \frac{0{,}34 \cdot U}{r_0 \ell g \frac{Д_{ср}}{r_0}},\ кВ/см$$

где U - линейное напряжение, кВ;

$Д_{ср}$ – среднее расстояние между проводами фаз, см.

При горизонтальном расположении фаз $Д_{ср} = 1{,}26Д$, где $Д$ – расстояние между соседними фазами, см.

В случае, если $E \geq E_0$ (при напряжении $U = 220\,кВ$ и выше) каждая фаза для уменьшения коронирования выполняется двумя, тремя или четырьмя проводами, т.е. применяются расщепленные провода. Тогда действительная напряженность

$$E = \frac{0{,}354 \cdot U}{n \cdot \ell g \frac{Д_{ср}}{r_0}},\ кВ/см,$$

где U – линейное напряжение, кВ;

$Д_{ср}$ – среднее расстояние между проводами фаз, см.

При горизонтальном расположении фаз $Д_{ср} = 1{,}26Д$, где $Д$ – расстояние между соседними фазами, см. В случае, если $E \geq E_0$ (при напряжении $U = 220\,кВ$ и выше) каждая фаза для уменьшения коронирования выполняется двумя, тремя или четырьмя проводами, т.е. применяются расщепленные провода.

Напряженность электрического поля вокруг расщепленных проводов:

$$E = k\frac{0{,}354U}{n \cdot r_0 \ell g \frac{Д_{ср}}{r_{экв}}};\ кВ/см,$$

где k – коэффициент, учитывающий число проводов n в фазе;

$r_{экв}$ – эквивалентный радиус расщепленных проводов (табл. 4).

Таблица 4 – Значения k и $r_{экв}$

Параметр	Число проводов в фазе, n		
	2	3	4
Коэффициент, k	$1+2\cdot\frac{r_0}{a}$	$1+2\cdot\sqrt{3}\cdot\frac{r_0}{a}$	$1+3\cdot\sqrt{2}\cdot\frac{r_0}{a}$
Эквивалентный радиус, $r_{экв}$, $см$.	$\sqrt{r_0\cdot a}$	$\sqrt[3]{r_0\cdot a^2}$	$\sqrt[4]{\sqrt{2}\cdot r_0\cdot a^3}$

Расстояние a в расщепленной фазе принимается при $U=220\,кВ$ равным 20 - 30 см, а в установках 330 - 750 кВ - 40 см.

Провода не будут коронировать, если $E\le 0{,}9E_0$ при объемном расположении проводов, а при горизонтальном расположении проводов $1{,}07E\le 0{,}9E_0$.

Проверка проводов по падению напряжения

Падение напряжения в линии (ЛЭП) не должно превышать 5%. Фактическое падение напряжения рассчитывается по формуле:

$$\Delta U_{расч.}=\frac{\sqrt{3}\,I_p}{U_н}\cdot 100\%\left(R_л\cdot\cos\varphi+X_л\cdot\sin\varphi\right),$$

где $R_л$ – активное сопротивление ЛЭП;

$X_л$ – индуктивное сопротивление ЛЭП.

$$\cos\varphi=\frac{P_{ср}}{S_{ср}},$$

$$\sin\varphi=\sqrt{1-\cos^2\varphi},$$

$$R_л=r_0\cdot\ell_{л1},$$

где r_0 – удельное активное сопротивление линии;

x_0 – удельное реактивное сопротивление линии;

$\ell_{л1}$ – длина линии ВН.

Значение удельных сопротивлений линии приведены в табл. 4.3

Таблица 5 – Значение удельных сопротивлений линий

Привод	r_0, *Ом/км*	x_0, *Ом/км*
АС-70	0,46	0,444
АС-95	0,33	0,429
АС-120	0,27	0,427
АС-185	0,17	0,413
АСО-240	0,13	0,405

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Назначение и порядок выполнения расчетов токов короткого замыкания (КЗ)

Для выбора электрооборудования, аппаратов, шин, кабелей токоограничивающих реакторов необходимо знать токи короткого замыкания. При этом обычно достаточно определить ток трехфазного короткого замыкания в месте повреждения, в некоторых случаях – распределении токов в ветвях схемы, непосредственно примыкающих к этому месту. Для большинства практических задач расчет ведут с рядом упрощений.

Расчет токов при трехфазном КЗ выполняют следующим образом:

1. Для рассматриваемой установки составляют расчетную схему.

2. По расчетной схеме составляют электрическую схему замещения.

3. Путем последовательного преобразования приводят схему замещения к простейшему виду так, чтобы каждый источник питания или группа источников с результирующей ЭДС были связаны с точкой КЗ одним сопротивлением $X_{\text{рез}}$.

4. Определяют значение периодической составляющей тока КЗ ($I_{\text{п}}$), затем ударный ток КЗ (i_y) и при необходимости – периодическую ($I_{\text{п}0}$) и апериодическую ($I_{\text{п}a}$) составляющие тока КЗ для заданного момента времени t ($I_{\text{п}t}$).

Расчетная схема – это однолинейная схема электроустановки с указанием тех элементов и их параметров, которые влияют на значение тока КЗ и должны учитываться при выполнении расчетов.

На расчетной схеме намечают расчетные точки КЗ – так, чтобы аппараты и проводники попадали в наиболее тяжелые условия работы:

– на сборных шинах РУ каждого напряжения;

– за трансформаторами собственных нужд.

Расчет токов КЗ для выбора электрических аппаратов

Расчет токов КЗ может выполняться двумя методами: именованных единиц или относительных единиц. Для обоих методов расчета токов КЗ требуется исходную схему замещения преобразовать к простейшему виду, когда источник питания или группа источников связаны с точкой КЗ одним сопротивлением $X_{\text{рез}}$. Для сетей свыше 1000 В рекомендуется выполнять расчет в относительных единицах.

Для всех расчетных точек определяются следующие величины: начальное значение периодической составляющей тока КЗ ($I_{\text{п}0}$), ударный ток КЗ (i_y) и ток в момент *t* расхождения контактов выключателя ($I_{\text{п}t}$). Результаты расчетов токов КЗ для каждой точки сводят в табл. 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов КЗ

Точка КЗ	$S_{\text{н}}$, МВ·А	$I_{\text{п}0}$, кА		Ударный ток 3^{х}-ф. КЗ i_y, кА
		Трехфазное КЗ	Однофазное КЗ	

Перечисленные величины определяются для всех точек. Последовательность расчета принимается такой, чтобы при вычислении токов в каждой следующей точке КЗ использовались результаты преобразования в предыдущей точке КЗ.

Общий способ расчета токов трехфазного КЗ для двухтрансформаторной электроподстанции (рисунок 4) представлен ниже.

Под расчетной схемой понимают упрощенную однолинейную схему электроустановки с указанием всех элементов и их параметров, которые влияют на ток КЗ и поэтому должны быть учтены при выполнении расчетов.

Расчетная схема изображена на рисунок 4 Параметры отходящих линий определены ранее. Эквивалентная схема замещения представлена на рисунке 5.

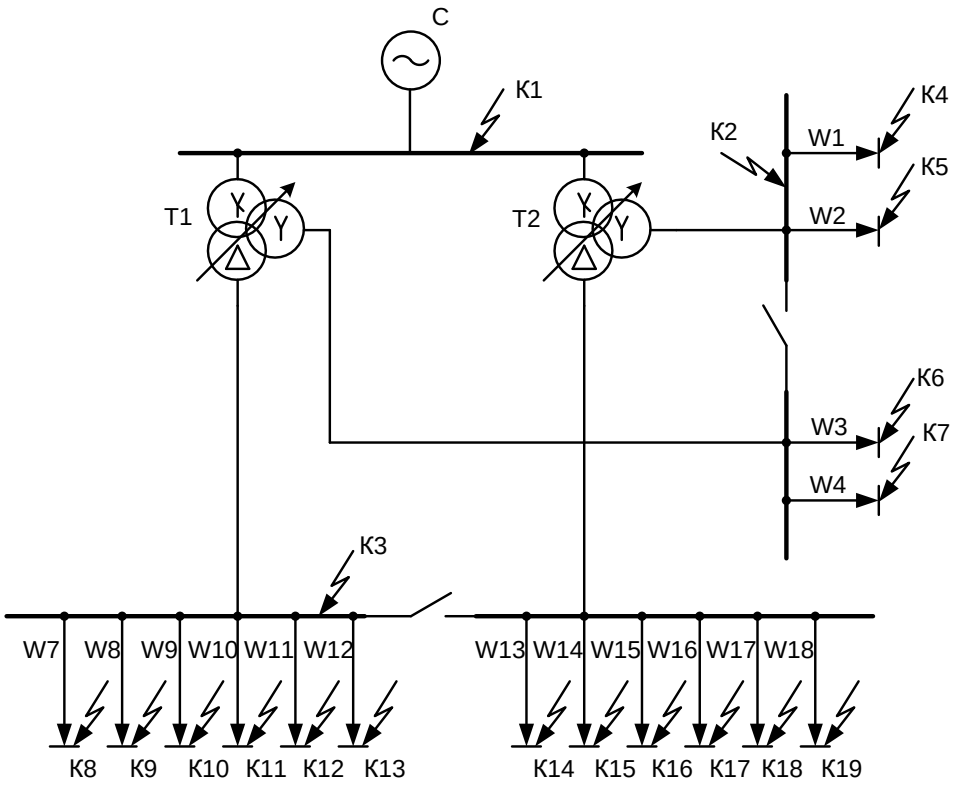


Рисунок 4 – Расчетная схема

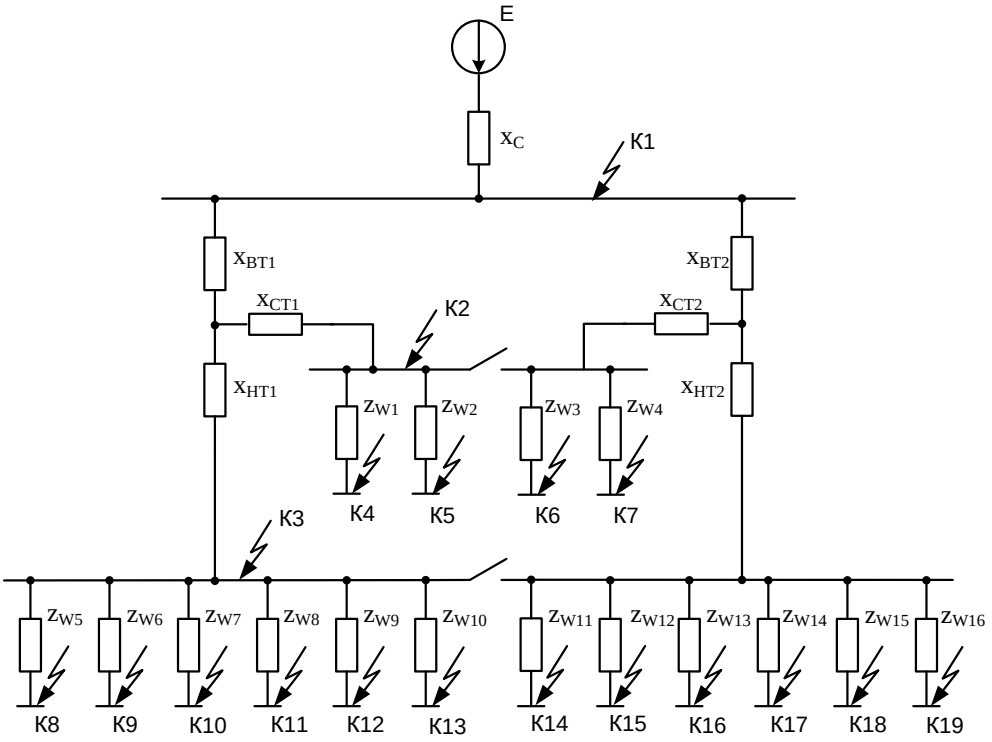


Рисунок 5 – Эквивалентная схема замещения

Расчет ведется методом именованных единиц.

За базисную мощность принимают мощность, кратную 10 (10;100;1000 и т.д.).

Определим базисные напряжения и токи всех уровней напряжений по формуле:

$$I_{б,i} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{б,i}}$$

ЭДС системы в относительных единицах:

$$E_1 = E_c = \frac{U_{ср}}{U_{б,I}};$$

Сопротивление системы:

$$x_1 = x_c = \left(\frac{U_{ср}}{U_б}\right)^2 \cdot \frac{S_б}{S_c},$$

где x_c – сопротивление системы в относительных единицах;

S_c – мощность короткого замыкания системы.

$$S_c = \sqrt{3} \cdot U_ф \cdot I_к^{(3)},$$

где $I_к^{(3)}$ - ток на короткого замыкания на шинах ВН со стороны энергосистемы (см п. 1.1).

$I_{к,max}^{(3)}$ - ток КЗ в режиме максимума;

$I_{к,min}^{(3)}$ - ток УЗ в режиме минимума.

Определим сопротивление линии W1:

$$x_{w1} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_б^2};$$

$$r_{w1} = r_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_б^2};$$

$$z_{w1} = \sqrt{x^2 + r^2},$$

где $x_{уд}$ – удельное индуктивное сопротивление линии,

$r_{уд}$ – удельное активное сопротивление линии,

l – длина линии, км.

Т.к. активное сопротивление трансформаторов меньше индуктивного, пренебрегаем активным сопротивлением. В относительных единицах:

$$x_в = \frac{1}{200} \cdot (U_{к,в\text{-}с} + U_{к,в\text{-}н} - U_{к,с\text{-}н}) \cdot \frac{S_б}{S_{ном}} \cdot \left(\frac{U_{ном}}{U_{б,i}}\right)^2;$$

$$x_с = \frac{1}{200} \cdot (U_{к,в\text{-}с} + U_{к,с\text{-}н} - U_{к,в\text{-}н}) \cdot \frac{S_б}{S_{ном}} \cdot \left(\frac{U_{ном}}{U_{б,i}}\right)^2;$$

$$x_н = \frac{1}{200} \cdot (U_{к,в\text{-}н} + U_{к,с\text{-}н} - U_{к,в\text{-}с}) \cdot \frac{S_б}{S_{ном}} \cdot \left(\frac{U_{ном}}{U_{б,i}}\right)^2.$$

где $U_к$ – напряжение короткого замыкания обмоток трансформатора, %;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение обмоток трансформатора, кВ;

$U_{б,I}$ – базисное напряжение, к которому приводится сопротивление обмоток высокого, среднего и низшего напряжения, кВ.

Расчет тока КЗ проводится для двух режимов: максимальный и минимальный.

В минимальном режиме учтем режим минимума энергосистемы и положение секционных выключателей –отключено.

В максимальном режиме учтем режим максимума энергосистемы и положение секционных выключателей – включено.

Расчет проводим по принципу упрощения схемы до точки короткого замыкания. Периодическая составляющая тока КЗ находится по формуле.

$$I_к^{(3)} = \frac{E}{x_\Sigma};$$

где E – суммарная ЭДС

x_Σ - суммарное сопротивление до точки КЗ.

Значение тока короткого замыкания в именованных единицах:

$$I_{к,им}^{(3)} = I_{к,отн}^{(3)} \cdot I_б;$$

где $I_б$ – базисный ток ступени напряжения, на которой происходит КЗ.

Далее находим значение ударного тока короткого замыкания для максимального режима по формуле:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_у \cdot I_к^{(3)};$$

где $K_у$ – ударный коэффициент.

Постоянная времени затухания апериодической составляющей

$$T_{ai} = \frac{X_\Sigma}{\omega R_\Sigma},$$

где ω-угловая частота сети, равная $\omega = 2\pi f = 314\frac{рад}{с}$.

Ударный коэффициент, показывающий во сколько раз амплитуда ударного тока К3 больше установившегося тока К3, определенного по формуле:

$$К_{уд1} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_{a1}}}$$

Для минимального режима ударный ток не рассчитываем.

Определяется ток двухфазного короткого замыкания в минимальном режиме для оценки чувствительности релейной защиты по формуле:

$$I_к^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_к^{(3)};$$

Приведем расчет тока короткого замыкания в точках К1 и К2, (см. рис. 5).

Точка К1 - максимальный режим:

Схема замещения приведена на рисунке 6

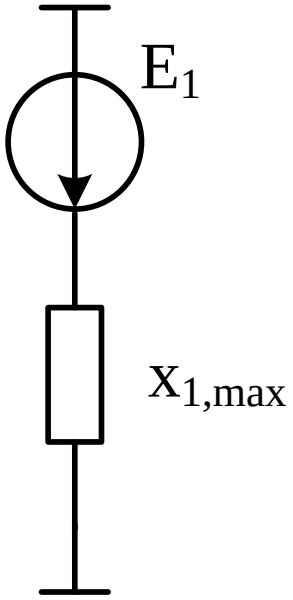


Рисунок 6 – Схема замещения для точки К1

$$I_к^{(3)} = \frac{E_1}{x_{1,max}}$$

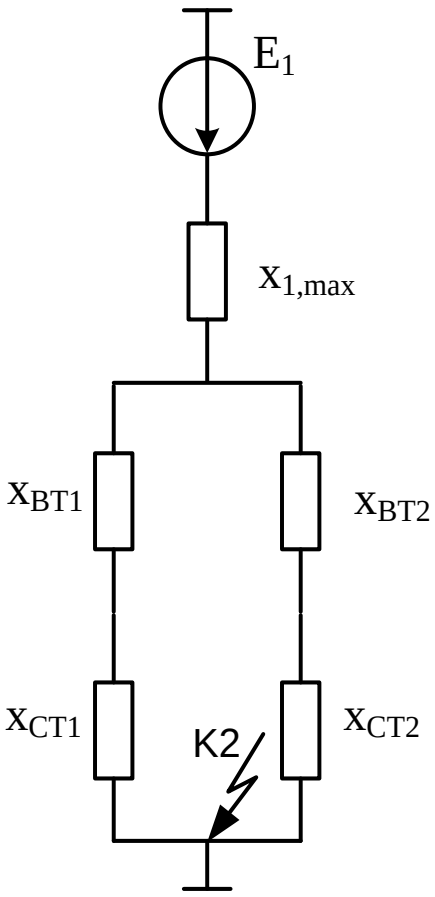
Минимальный режим:

Схема замещения приведена рисунке 4.3.

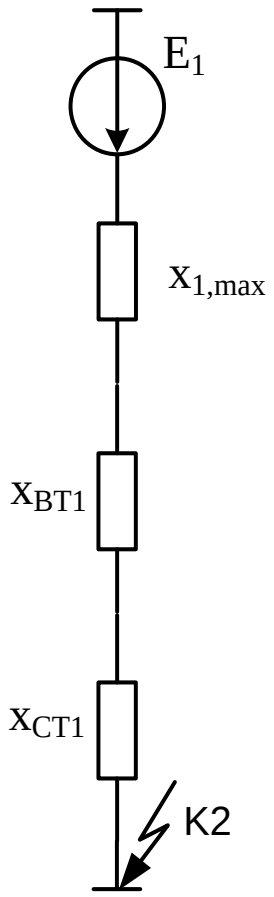
$$I_к^{(3)} = \frac{E_1}{x_{1,min}}$$

Точка К2 - максимальный режим.

Схема замещения представлена на рисунке 7 а:



а) максимальный режим



б) минимальный режим

Рисунок 7 – Схема замещения для точки К2

$$x_{\Sigma} = x_{1,max} + \frac{(x_{вт1} + x_{ст1}) \cdot (x_{вт2} + x_{ст2})}{(x_{вт1} + x_{ст1}) + (x_{вт2} + x_{ст2})};$$

$$I_{к}^{(3)} = \frac{E_1}{x_{\Sigma}}.$$

Ток короткого замыкания в именованных единицах:

Минимальный режим:

Схема замещения представлена на рисунке 7 б.

$$x_{\Sigma} = x_{1,min} + x_{вт1} + x_{ст1}$$

$$I_{к}^{(3)} = \frac{E_1}{x_{\Sigma}}$$

Ток короткого замыкания в именованных единицах:

Выбор токоограничивающих реакторов

Реакторы служат для ограничения токов КЗ в мощных электроустановках, что позволяет применять более легкие и дешевые выключатели и уменьшать площадь сечения кабелей, а, следовательно, удешевлять РУ и распределительные сети. Основная область применения реакторов – электрические сети напряжением 6–10 кВ.

Для ограничения тока КЗ в РУ 6–10кВ электрических подстанций применяют линейные реакторы.

Линейные реакторы включаются последовательно в цепь отходящей линии (линий), они предназначены для ограничения тока КЗ в распределительной сети. При выборе линейных реакторов предпочтение отдается групповым сдвоенным реакторам, т. к. они экономичнее индивидуальных. Номинальный ток реактора определяют исходя из наибольшего тока групп линий, присоединенных к шинным сборкам группового реактора. Рекомендуется, чтобы число линий, присоединенных к групповой сборке, не превышало трех-четырех.

Сопротивление линейных реакторов $X_{\text{р}}$ определяется из условия ограничения тока КЗ до тока отключающей способности включателя $I_{\text{ном.откл}}$

При выборе реактора выполняется упрощенный расчет тока КЗ, когда вся система, включая проектируемую подстанцию, приводится к одному результирующему сопротивлению между объединенными источниками питания и точкой КЗ $X_{\text{рез}}$. Сверхпереходный ток в выбранной точке КЗ определяется как

$$I_{\text{п0}} = \frac{I_{\text{б}}}{\text{X}_{\text{рез}}},$$

где $I_{\text{б}}$ – базисный ток ступени напряжения, на которой выбрана точка КЗ.

Желаемое сопротивление системы для обеспечения отключающей способности выключателя (например, ВМП-10 – $I_{\text{ном.откл}} = 20\ \text{кА}$).

$$\text{X}_{\text{сист.жел}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{ном.откл}}}.$$

Расчетное сопротивление системы:

$$X_{\text{сист.}} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{п0}}}.$$

Разность полученных сопротивлений дает желаемое сопротивление реактора

$X_{\text{р.жел}}$:

$$X_{\text{р.жел}} = X_{\text{сист.жел}} - X_{\text{сист}}.$$

Затем в соответствии с требуемыми значениями $U_{\text{ном}}$ и $I_{\text{ном}}$ выбирается реактор с сопротивлением $X_{\text{р.ном}}$ ближайшим большим значения $X_{\text{р.жел}}$.

ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Общие положения по выбору аппаратов

Электрические аппараты выбирают по расчетным условиям нормального режима и проверяют на работоспособность в условиях анормальных режимов (термическая и динамическая стойкость при коротких замыканиях, коммутационная способность и т. д.).

Факторы, учитываемые при выборе аппаратов, указаны в табл. 7.

Таблица 7 – Выбор электрических аппаратов

Тип электрического аппарата	**Номинальное напряжение**	**Номинальный ток**	**Динамическая стойкость**	**Термическая стойкость**	**Коммутационная способность**	**Нагрузка вторичных цепей**
Выключатель	+	+	+	+	+	–
Разъединитель	+	+	+	+	(+)	–
Короткозамыкатель	+	–	+	+	–	–
Отделитель	+	+	+	+	(+)	–
Трансформатор тока	+	+	+	+	–	+
Трансформатор напряжения	+	–	–	–	–	+

Примечание. Учитываемые факторы обозначены знаком «+», не учитываемые – «–», а отмеченные знаком (+) учитываются в частных случаях. Условия выбора и проверки аппаратов изложены ниже.

Выбор коммутационных аппаратов

Выбор выключателей производим по следующим параметрам:

– по напряжению электроустановки:

$$U_{\text{уст}} \le U_{\text{ном}};$$

– по длительному рабочему току с учетом возможных длительных перегрузок основного оборудования:

$$k \cdot I_{\text{раб.ном}} \le I_{\text{ном}},$$

где $U_{\text{ном}}$, $I_{\text{ном}}$ – паспортные (каталожные) параметры выключателя;

k – коэффициент, зависящий от допускаемых длительных повышений номинального тока (для трансформаторов, не работающих в блоке с генератором $k = 1{,}4$).

Проверку выключателей производим по следующим формулам:

– на электродинамическую стойкость выполняем по условиям:

$$I_{\text{п0}} \le I_{\text{дин}};$$

$$i_y \le I_{\text{а.дин}},$$

где $I_{\text{п0}}$, $i_{\text{у}}$ – расчетные значения периодической составляющей тока КЗ (при $t = 0$) и ударного тока (при $t = 0{,}01\,\text{с}$) в цепи, для которой выбирается выключатель;

$I_{\text{дин}}$, $I_{\text{а.дин}}$ – действующее и амплитудное значение предельного и сквозного тока КЗ (каталожные параметры выключателя).

Выбрав выключатель по рассмотренным параметрам, зная по каталогу собственное время отключения выключателя $t_{\text{с.в}}$, находят время от начала КЗ до расхождения контактов выключателей:

$$t = t_{\text{з.min}} + t_{\text{с.в}},$$

где $t_{\text{ç.min}}$ – минимальное время действия релейной защиты принимаем равным 0,01с, и для этого времени определяют периодическую $I_{\text{п}t}$ и апериодическую β составляющие тока КЗ;

t – полное время отключения выключателя (приводится в технических характеристиках выключателя).

Отключающая способность выключателя проверяется по следующим условиям:

1. Производится проверка на симметричный ток отключения по условию

$$I_{\text{п}t} \le I_{\text{ном.откл}},$$

где $I_{\text{ном.откл}}$ – номинальный ток отключения по каталогу.

2. Проверяется возможность отключения апериодической составляющей тока КЗ i_{at}. Определяют процентное содержание i_{at} в токе и проверяют выполнение условия:

$$\beta \le \beta_{\text{ном}}.$$

Величину β находят по выражению

$$\beta = \frac{i_{at}}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{п}t}} \cdot 100\%;$$

$$\text{i}_{\text{а}\tau} = \sqrt{2} \cdot \text{I}_{\text{п}0} \cdot (1 + \text{e}^{-\frac{\text{t}}{\text{T}_{\text{a}}}}),$$

где T_a – постоянная времени затухания. Величину T_a и значение ударного коэффициента можно определить по (5.14)и (5.15)

На термическую стойкость выключатель проверяют по расчетному импульсу квадратичного тока КЗ $B_{\text{к}}$ и найденным в каталоге предельному гарантированному заводом-изготовителем току термической устойчивости аппарата $I_{\text{т}}$ и времени его протекания $t_{\text{т}}$:

$$B_{\text{к}} \le I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}}.$$

Параметр $B_{\text{к}}$ определяется следующим образом:

$$B_{\text{к}} = I_{\text{п}0}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_{\text{а}}),$$

где $t_{\text{откл}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{в}}$,

$t_{\text{рз}}$ – время действия релейной защиты;

$t_{\text{в}}$ – полное время отключения выключателя (приводится в технических характеристиках выключателя).

Необходимо отметить, что расчетным видом КЗ для проверки на электродинамическую термическую стойкость является трехфазное КЗ. Если же в сетях с эффективно-заземленной нейтралью ($U = 110$ кВ и выше) оказывается, что ток однофазного КЗ больше тока трехфазного КЗ, то проверку на отключающую способность ведут по более тяжелому режиму.

Разъединители, отделители и выключатели нагрузки выбираются по номинальному напряжению $U_{\text{ном}}$, номинальному длительному току $I_{\text{ном}}$, а в режиме КЗ проверяют на

термическую и электродинамическую стойкость. Для короткозамыкателей выбор по номинальному току не требуется.

Выключатели нагрузки проверяют дополнительно по току отключения:

$$k \cdot I_{\text{раб.ном}} \le I_{\text{ном.откл}} .$$

Выбор предохранителей производится по параметрам $U_{\text{ном}}$, $I_{\text{ном}}$ с проверкой выполнения условия $I_{\text{п0}} \le I_{\text{ном.откл}}$.

Расчетные величины для выбора перечисленных аппаратов те же, что и для выключателей.

Выбор рассмотренных и других типов электрических аппаратов рекомендуется производить в табличной форме. Так, например, табл. 8 соответствует условиям выбора выключателя.

Таблица 8 – Выбор выключателей

Расчетные параметры цепи	**Каталожные данные выключателя**	**Условия выбора**
$U_{\text{уст}}$	$U_{\text{ном}}$	$U_{\text{уст}} \le U_{\text{ном}}$
$k \cdot I_{\text{раб.ном}}$	$I_{\text{ном}}$	$k \cdot I_{\text{раб.ном}} \le I_{\text{ном}}$
$I_{\text{п}t}$	$I_{\text{ном.откл}}$	$I_{\text{п}t} \le I_{\text{ном.откл}}$
$\beta = \frac{i_{a\tau}}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{п}t}} \cdot 100\%$	$\beta_{\text{ном}}$	$\beta = \beta_{\text{ном}}$
$I_{\text{по}}$	$I_{\text{дин}}$	$I_{\text{по}} \le I_{\text{дин}}$
i_y	$I_{\text{а.дин}}$	$i_y \le I_{\text{а.дин}}$
$B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}; t_{\text{т}}$	$B_{\text{к}} \le I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}}$

Выбор измерительных трансформаторов

Трансформаторы тока (ТА) выбираются:

– по напряжению установки $U_{\text{уст}} \le U_{\text{ном}}$;

– по номинальному первичному току $I_{1\text{ном}}$ (номинальный ток должен быть как можно ближе к рабочему току установки, так как перегрузка первичной обмотки приводит

к увеличению погрешности;

– по конструкции и классу точности;

– по электродинамической стойкости:

$$i_{\text{у}} = k_{\text{дин}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1\text{ном}},$$

где $k_{\text{дин}}$ – кратность электродинамической стойкости по каталогу;

– по термической стойкости:

$$B_{\text{к}} \le (k_{\text{т}} \cdot I_{1\text{ном}})^2 \cdot t_{\text{т}},$$

где $k_{\text{т}}$ – кратность термической стойкости по каталогу;

– по вторичной нагрузке:

$$z_2 \le z_{2\text{ном}},$$

где z_2 – вторичная нагрузка трансформатора тока;

$z_{2\text{ном}}$ – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

Рассмотрим порядок расчета нагрузки z_2. Индуктивное сопротивление токовых цепей невелико, поэтому $z_2 \approx r_2$. Вторичная нагрузка состоит из сопротивления приборов $r_{\text{приб}}$, соединительных проводов $r_{\text{пров}}$ и переходного сопротивления контактов $r_{\text{конт}}$:

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{конт}}.$$

Сопротивление приборов

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_{2\text{ном}}^2},$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами;

$I_{2\text{ном}}$ – номинальный вторичный ток ТА, равный 1 А для мощных РУ 220–330 кВ и выше, в остальных случаях $I_{2\text{ном}} = 5\ \text{А}$.

Трансформаторы тока установлены во всех цепях. Сопротивление контактов $r_{\text{конт}}$ принимают равным 0,05 Ом при двух-трех и 0,1 Ом – при большем числе приборов.

Зная $z_{2\text{ном}}$, определим допустимое сопротивление и площадь сечения провода:

$$S = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пров}}},$$

где ρ – удельное сопротивление материала провода;

$l_{расч}$ – расчетная длина, зависящая от схемы соединения трансформатора тока и расстояния от трансформаторов тока до приборов: при включении в неполную звезду $l_{расч} = \sqrt{3} \cdot l$; при включении в звезду $l_{расч} = l$; при включении в одну фазу $l_{расч} = 2 \cdot l$.

Здесь следует отметить, что провода с медными жилами ($\rho = 0{,}0175 \frac{Ом \cdot мм^2}{м}$) применяются на подстанциях с высшим напряжением 220 кВ и выше. В остальных случаях во вторичных цепях применяются провода с алюминиевыми жилами ($\rho = 0{,}0283 \frac{Ом \cdot мм^2}{м}$).

Длину соединительных проводов от трансформаторов тока до приборов (в один конец) можно принять для разных присоединений приблизительно равной, м:

Таблица 9 –

Наименование и напряжение установки	**Длина, м**
Линии 6–10 кВ к потребителям	4 … 6
Все цепи РУ 35 кВ	60 … 75
Все цепи РУ 110 кВ	75 … 100
Все цепи РУ 220 кВ	100 … 150

Для подстанций указанные длины снижают на 15 … 20 %. Полученная площадь сечения не должна быть меньше 4 $мм^2$ для проводов с алюминиевыми жилами и 2,5 $мм^2$ для проводов с медными жилами – по условию механической прочности. Провода с площадью сечения больше 6 $мм^2$ обычно не применяются.

Трансформаторы напряжения выбирают по условиям:

$$U_{уст} \le U_{1ном}, \; S_2 \le S_{2ном} \text{ в намеченном классе точности,}$$

где $U_{1ном}$ – номинальное первичное напряжение;

S_2 – мощность внешней вторичной цепи (вторичная нагрузка);

$S_{2ном}$ – номинальная вторичная нагрузка. За $S_{2ном}$ принимают мощность всех

трех фаз однофазных трансформаторов напряжения, соединенных по схеме звезды и удвоенную мощность однофазного трансформатора, включенного по схеме неполного треугольника.

Для упрощения расчетную нагрузку приборов не разделяют по фазам. При определении вторичной нагрузки сопротивление соединительных проводов не учитывают, так как оно мало.

ВЫБОР ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Общие положения

Основное электрическое оборудование электростанций и подстанций и аппараты в этих цепях соединяются между собой проводниками разного типа, которые образуют токоведущие части электрической установки.

При выборе токоведущих частей необходимо обеспечить выполнение ряда требований, вытекающих из условий работы. Проводники должны:

1) длительно проводить рабочие токи без чрезмерного повышения температуры;

2) противостоять кратковременному электродинамическому и тепловому действию токов КЗ;

3) выдерживать механические нагрузки, создаваемые собственной массой и массой связанных с ними аппаратов, а также усилия, возникающие в результате атмосферных воздействий;

4) удовлетворять требованиям экономичности электроустановки.

Рассмотрим типы проводников, применяемых на подстанциях:

1. На подстанциях в открытой части могут применяться провода АС или жесткая ошиновка алюминиевыми трубами. Соединение трансформатора с закрытым РУ 6–10 кВ или с КРУ 6–10 кВ осуществляется гибким подвесным токопроводом, шинным мостом или закрытым комплектным токопроводом. В РУ 6–10 кВ применяется жесткая ошиновка.

2. В цепях линий 6–10кВ вся ошиновка до реактора и за ним, а также в шкафах КРУ выполнена прямоугольными алюминиевыми шинами. Непосредственно к потребителю отходят кабельные линии.

3. Цепь трансформатора собственных нужд. От стены ЗРУ до выводов ТСН, установленного вблизи ЗРУ, соединение выполняется жесткими алюминиевыми шинами. Если

ТСН устанавливается на удалении от ЗРУ, то участок между ними выполняется гибким токопроводом. От трансформатора до РУ собственных нужд применяется кабельное соединение.

Выбор жестких шин

В закрытых РУ 6–10 кВ и в ряде случаев в открытых РУ напряжением 35 кВ и выше ошиновка (присоединения к сборным шинам) и сборные шины выполняются жесткими алюминиевыми шинами. Медные шины из-за высокой их стоимости не применяются даже при больших токовых нагрузках. При токах до 300 А применяются одно- и двухполосные шины. При больших токах рекомендуются шины коробчатого сечения, т. к. они обеспечивают меньшие потери от эффекта близости и поверхностного эффекта, а также лучшие условия охлаждения.

Выбор сечения ошиновки производится по экономической плотности тока [4, с. 265]:

$$S_{эк} = \frac{I_{раб.ном}}{j_{эк}},$$

где $j_{эк}$ – экономическая плотность тока, зависящая от величины $T_м$.

Для алюминиевых и сталеалюминевых проводников

при $T_м = 1000 \ldots 3000$ часов – $j_{эк} = 1{,}3\ А/мм^2$,

при $T_м = 3000 \ldots 5000$ часов – $j_{эк} = 1{,}1\ А/мм^2$,

свыше 5000 часов – $j_{эк} = 1{,}0\ А/мм^2$.

Найденное сечение округляется. При этом принимается ближайшее меньшее стандартное сечение, если оно не отличается от экономического больше, чем на 15 %. В противном случае, принимается ближайшее большее стандартное сечение.

Следует учесть, что по экономической плотности тока не выбираются:

– сборные шины всех напряжений, т. к. нагрузка по длине неравномерна и на многих ее участках меньше рабочего тока;

– ошиновка и кабели резервных линий и резервных трансформаторов СН, т. к. они включаются эпизодически.

Выбранные по $j_{эк}$ шины проверяются:

– по допустимому току из условий нагрева;

– на термическую стойкость при воздействии токов КЗ;

– на динамическую стойкость при КЗ (механический расчет).

Проверка шин по допустимому току осуществляется по условию их нагрева током утяжеленного режима $k \cdot I_{\text{раб.ном}} \le I'_{\text{доп}}$, где $I'_{\text{доп}}$ – допустимый ток на шины выбранного сечения с учетом температуры охлаждающей среды, отличной от принятой в таблицах [4, с. 267] при определении допустимого тока $I_{\text{доп}}$.

Величину $I'_{\text{доп}}$ можно определить из приближенного равенства:

$$\mathrm{I}'_{\text{доп}} = \mathrm{I}_{\text{доп}} \cdot \sqrt{\frac{\mathrm{Q}_{\text{ном}} - \mathrm{Q}_{\text{в}}}{\mathrm{Q}_{\text{ном}} - \mathrm{Q}_{\text{в.н}}}},$$

где $Q_{\text{ном}}$ – допустимая температура нагрева шины;

$Q_{\text{в}}$ – температура окружающей среды (воздуха);

$Q_{\text{в.н}}$ – нормированная температура воздуха.

Проверка термической устойчивости шин сводится к определению допустимого по условиям нагрева токами КЗ сечения и сопротивления его с выбранным $F_{\text{расч}}$ по условиям рабочего режима:

$$\mathrm{F}_{\min} = \frac{\sqrt{\mathrm{B}_{\text{к}}}}{\mathrm{c}} \le \mathrm{F}_{\text{расч}},$$

где значение коэффициента c следует брать по табл. 10

Таблица 10

Вид и материал проводника	**Коэффициент *c***
Медные шины	170
Алюминиевые шины	90
Кабели до 10 кВ с медными жилами	160
Кабели до 10 кВ с алюминиевыми жилами	110

Проверка шин на электродинамическую стойкость сводится к механическому расчету шинной конструкции при КЗ. Электродинамические силы, возникающие при КЗ, носят колебательный характер. Эти силы приводят шины и изоляторы, представляющие собой динамическую систему в колебательное движение. Для обеспечения механической прочности шин при токах КЗ расчетное напряжение в материале не должно превосходить $\delta_{доп} = 70$ МПа для алюминия и $\delta_{доп} = 140$ МПа для меди.

Условие проверки:

$$\delta_{расч} \le \delta_{доп}.$$

Для однополосных шин (или труб) максимальное расчетное напряжение в шине определяется по формуле:

$$\sigma_{расч} = \frac{f \cdot l_{пр}^2}{10 \cdot W},$$

где f – максимальное усилие, приходящееся на 1 м длины, от взаимодействия между токами фаз, Н/м;

$l_{пр}$ – расстояние (пролет) между осями изоляторов вдоль фазы, м;

W – момент сопротивления шины относительно оси, перпендикулярной направлению действия усилия, $м^3$.

Формулы для подсчета момента сопротивления:

– для прямоугольных шин $W = \frac{b \cdot h^2}{6}$ или $W = \frac{b^2 \cdot h}{6}$ в зависимости от их взаимного расположения, где b – толщина шины, м; h – ее высота, м;

– для труб $W = \frac{0{,}1 \cdot (D^4 - d^4)}{D}$, где D и d – соответственно внешний и внутренний диаметр трубы;

– моменты сопротивления коробчатых шин.

Усилие при расположении шин в одной плоскости:

$$f = 1{,}76 \cdot \frac{i_у^2}{a} \cdot 10^{-7},$$

где a – расстояние между осями смежных фаз, м.

Максимальное расчетное напряжение в многополосных шинах, когда в пакет входят две или три полосы, находится по выражению $\sigma_{расч} = \sigma_ф + \sigma_п$,

где $\sigma_ф$ – напряжение от взаимодействия фаз, определяемое также как и для однополосных шин; $\sigma_п$ – напряжение от взаимодействия полос пакета одной фазы.

Величина $\sigma_п$ определяется как

$$\sigma_п = \frac{f_п \cdot l_п^2}{2 \cdot b^2 \cdot h},$$

где $f_п$ – усилие, приходящееся на 1 м длины полосы от взаимодействия между токами полос пакета, $Н/м$;

$l_п$ – расстояние между прокладками пакета, м.

При этом сила взаимодействия между полосами в двухполосных шинах и сила, действующая на крайние полосы в трехполосных шинах (как наиболее деформируемые) составляет в Н/м соответственно:

$$f_п = 0{,}25 \cdot k_ф \cdot \frac{i_у^2}{b} \cdot 10^{-7};$$

$$f_п = 0{,}16 \cdot k_ф \cdot \frac{i_у^2}{b} \cdot 10^{-7},$$

где $k_ф$ – коэффициент формы шин, учитывающий влияние поперечных размеров проводника на силы взаимодействия.

Сборные шины РУ выбираются по допустимому рабочему току. Расчетные рабочие токи сборных шин зависят от рабочих токов присоединений, их взаимного расположения в РУ, а также от вида сборных шин и режима установки.

Для выбора площади сечения сборных шин по утяжеленному режиму следует выявить ожидаемые рабочие токи на отдельных участках РУ при наиболее неблагоприятных условиях.

Если рабочие токи на этих участках резко различны, шины могут быть выбраны «ступенчатыми» – с площадью сечения, соответствующей рабочим токам участков. Площадь сечения шин должна быть достаточной для передачи рабочего тока наиболее мощного агрегата.

Сборные шины проверяются на тех же условиях, рассматриваемых выше. Кроме того, РУ 35 кВ и выше выбранное сечение жестких шин проверяется на корону

Следует подчеркнуть важность момента выбора формы сечения шин. В закрытом РУ до 20 кВ включительно шины выполняют из полос прямоугольного сечения, т. к. проводники с прямоугольным сечением более экономичны, чем с круглым. В РУ 35 кВ и выше по условиям короны применяются шины только круглого сечения.

Выбор гибких шин и токопроводов

В РУ 35 кВ и выше применяются гибкие шины, выполненные проводами АС. Они выбираются по тем же условиям, что и жесткие шины. Добавляется лишь проверка выбранного сечения шин на исключение возможности схлестывания шин или опасного их сближения в результате динамического действия токов КЗ (вместо проверки на электродинамическую стойкость)

Гибкие токопроводы для соединения трансформаторов с РУ 6–10 кВ выполняются пучком проводов, закрепленных по окружности в кольцах – обоймах. Два провода из пучка – сталеалюминевые – несут в основном механическую нагрузку от собственного веса, гололеда, ветра. Остальные провода – алюминиевые – являются только токоведущими.

Расчет гибкого токопровода заключается в определении числа и сечения проводников.

Исходя из общего сечения пучка $F_{эк}$ проводов выбираются несущие провода.

Сечение несущего провода принимается равным $F_{нес} = 0{,}15 \cdot F_{эк}$.

Число и сечение токоведущих проводов выбирается по следующим условиям:

$$S \cdot n + 2 \cdot S_{нес} = S_{эк}.$$

Сечение несущего провода рекомендуется брать на ступень больше токоведущего.

Выбранное сечение токопровода проверяется по длительно допустимому току, термическому и электродинамическому действию тока КЗ.

Выбор кабелей

Кабели выбираются по напряжению установки и экономической плотности тока.

Проверка нагрева кабелей при аварийных перегрузках производится по условию^

$$k \cdot I_{\text{раб.ном}} \le k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_{\text{доп}},$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток на одиночный кабель, проложенный в земле при температуре почвы 15°С или на воздухе при температуре 25°С;

k_1, k_2, k_3 – поправочные коэффициенты соответственно на температуру почвы, воздуха и на число кабелей в траншее, определяемые по [9].

Выбранные сечения кабеля проверяются на термическую устойчивость.

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДСТАНЦИЯХ

Контроль за режимом работы основного и вспомогательного оборудования на электростанциях и подстанциях осуществляется с помощью контрольно-измерительных приборов.

Измерениями должны быть охвачены все параметры основного и вспомогательного оборудования, которые определяют режим управляемого объекта – электрической подстанции.

Структурная схема системы измерения в общем случае включает в себя: первичный измерительный прибор, преобразователи, канал связи и вторичный измерительный прибор.

На электрических подстанциях используются измерительные приборы четырех типов:

1) показывающие аналоговые и цифровые приборы – для визуального наблюдения за параметрами режима;

2) регистрирующие (самопишущие) приборы – для непрерывной графической или цифровой записи параметров в нормальном режиме;

3) интегрирующие приборы (счетчики) – для суммирования показаний во времени;

4) фиксирующие приборы (самопишущие приборы с ускоренной записью, осциллографы, специальные регистраторы событий и др.) для графической записи параметров в аварийных условиях.

В соответствии с ПУЭ щитовые показывающие или регистрирующие электроизмерительные приборы должны иметь класс точности не ниже 2,5; счетчики активной энергии, предназначенные для денежных расчетов (расчетные счетчики) – не ниже 2,0, а для линий

межсистемных связей напряжнием 110 кВ – 1,0, 220 кВ и выше – 0,5. Класс точности счетчиков реактивной энергии выбирают на одну ступень ниже класса точности соответствующих счетчиков активной энергия. Для фиксирующих приборов допускается класс 3,0. Амперметры подстанций, РУ могут иметь класс точности 4,0.

Состав измерительных приборов, которые должны быть установлены для контроля за режимом работы основного электрооборудования подстанции/

Контроль за работой двухобмоточного трансформатора осуществляется с помощью комплекта приборов, устанавливаемых на стороне низшего напряжения и включающих в себя амперметр, ваттметр и варметр. Вместо ваттметра и варметра практикуют использование одного комбинированного прибора с переключением в цепях напряжения. При необходимости учета энергии, протекающей через трансформатор на нем, устанавливают счетчики активной и реактивной энергии. Если возможен реверсивный режим работы трансформатора, то устанавливают ваттметр и варметр с двухсторонней шкалой и два комплекта счетчиков со стопорами. У трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов на сторонах низшего и среднего напряжения устанавливают те же приборы, что и у двухобмоточного трансформатора. Контроль за током осуществляют на всех обмотках.

На сборных шинах повышенного напряжения предусматривают по одному указывающему вольтметру на каждой системе или секции шин, аварийные осциллографы.

На линиях 6–35 кВ, которые обычно идут непосредственно к потребителям, устанавливают амперметр и счетчик активной энергии. Счетчик реактивной энергии требуется при расчете с потребителями с учетом коэффициента мощности.

Линии напряжением 110 кВ и выше сетей районного значения нуждаются в контроле за током и мощностью, осуществляемом одним или тремя амперметрами (при пофазном управлении), ваттметром и варметром. Учет активной энергии должен быть обеспечен лишь на линиях межсистемных связей, проводимый на каждом конце счетчиками активной энергии со стопорными механизмами.

На сборных шинах понижающих подстанций устанавливают указывающий вольтметр на каждой системе и секции сборных шин всех напряжений. На шинах 6–35 кВ – комплект приборов контроля изоляции. Для выявления картины того или иного аварийного режима на подстанциях устанавливают осциллографы, записывающие режимные параметры, подлежащие контролю.

Питание приборов осуществляется от измерительных трансформаторов.

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ПОДСТАНЦИИ

Релейной защитой называется комплекс специальных устройство, состоящее из реле и других аппаратов, которые обеспечивают автоматическое отключение поврежденного элемента электрической цепи, если данное повреждение представляет собой непосредственную опасность для этой цепи, или приводить в действие сигнальные устройства. Релейная защита должна удовлетворять следующим требованиям:

- релейная защита должна быть селективной, т.е. отключать только поврежденный участок электрической цепи,

- релейная защита должна иметь минимально возможное время срабатывания,

- релейная защита должна быть достаточно чувствительной ко всем видам повреждений ненормальным режимам работы на защищаемом участке электрической цепи,

- релейная защита должна быть надежной.

К повреждениям трансформатора относятся:

1. Междуфазное короткое замыкание на выводах и в обмотке (последние возникают гораздо реже, чем первые).

2. Однофазные короткие замыкания (на землю и между витками обмотки т.е. межвитковые замыкания).

3. «Пожар стали сердечника».

К ненормальным режимам работы относятся:

1. Перегрузки, вызванные отключением, например, одного из работающих трансформаторов.

2. Возникновение токов при внешних коротких замыканиях, представляющих опасность из-за их теплового действия на обмотки трансформатора.

3. Недопустимое понижение уровня масла, вызываемое значительным понижением температуры и другими причинами.

При выполнении защит трансформатора необходимо учитывать некоторые особенность их ненормальной работы:

-броски тока намагничивания при включении трансформатора под напряжение,

-влияние коэффициента трансформации и схем соединения обмоток трансформатора.

Для выбора защит силового трансформатора, питающих линий, распределительных шин подстанции необходимо руководствоваться указаниями ПУЭ.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ПРОТИВОПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Электробезопасность

Общие требования электробезопасности

1. Требования к персоналу.
2. Оперативное обслуживание. Осмотр электроустановок.
3. Порядок и условия производства работ.
4. Организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ.
5. Ответственные за безопасность проведения работ, их права и обязанности.
6. Организация работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации согласно перечню.
7. Надзор за при проведении работ.
8. Окончание работы, сдача-приемка рабочего места.
9. Включение электроустановок после полного окончания работ.

Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения

1. Отключения.
2. Вывешивание запрещающих плакатов.
3. Проверка отсутствия напряжения.
4. Установка заземления.
5. Установка заземления в распределительных установках.
6. Установка заземления на ВЛ.
7. Ограждение рабочего места.

Меры безопасности при проведении отдельных работ

1. Работы в зоне влияния электрического и магнитного полей.
2. Генераторы и синхронные компенсаторы.
3. Электролизные установки.
4. Электродвигатели.
5. Коммутационные аппараты.
6. Комплексные распределительные устройства.
7. Мачтовые (столбовые) ТК и КТП.
8. Силовые трансформаторы, масляные шунтирующие и дугогасящие реакторы.
9. Измерительные трансформаторы тока.

10. Электрофильтры.
11. Аккумуляторные батареи.
12. Конденсаторные установки.
13. Кабельные линии.

Воздушные линии электропередачи

1. Работы без снятия напряжения.
2. Работы в пролетах пересечения с действующими ВЛ.
3. Пофазный ремонт ВЛ.
4. Работы на пересечениях и сближениях ВЛ с дорогами.
5. Обслуживание сетей уличного освещения.

Средства связи, диспетчерского и технологического управления

1. Кабельные линии связи.
2. Аппаратура необслуживаемых усилительных пунктов.
3. Воздушные линии связи.
4. Радио и радиорелейные линии.
5. Высокочастотная связь по ВЛ и молниезащитным тросам.
6. Временная высокочастотная связь.
7. Аппаратные СДТУ.

Охрана труда

1. Требования к территории проектируемого объекта.
2. Противопожарные мероприятия, средства оповещения и тушения пожаров.
3. Защита от атмосферного электричества.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОДСТАНЦИИ

КПД электроподстанции определяется по формуле

$$\eta = \frac{W_{год}}{W_{год} + \Delta W_{пот}} \cdot 100\%.$$

Годовые потери энергии в двухобмоточном трансформаторе определяются:

$$\Delta W_{пот} = n \cdot \Delta P_{хх} \cdot 8760 + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{кз} \cdot \left(\frac{S_р}{S_{ном.тр}} \right)^2 \cdot \tau,$$

где $\Delta P_{хх}$ – потери холостого хода, кВт;

$\Delta P_{кз}$ – потери короткого замыкания, кВт;

τ – время максимальных потерь; значение τ может быть определено по формуле

$$\tau = (0{,}124 + T_м \cdot 10^{-4}) \cdot 8760,$$

где $T_м$ – продолжительность использования максимальной нагрузки.

Для трехобмоточных трансформаторов потери энергии определяются, как

$$\Delta W_{пот} = n \cdot \Delta P_{хх} \cdot 8760 + \frac{1}{n} (\Delta P_{кзВ} \left(\frac{S_{рВ}}{S_{ном.тр\,В}} \right)^2 \cdot \tau_В +$$

$$+ \Delta P_{кзС} \left(\frac{S_{рС}}{S_{ном.тр\,С}} \right)^2 \cdot \tau_С + \Delta P_{кзН} \left(\frac{S_{рН}}{S_{ном.тр\,Н}} \right)^2 \cdot \tau_Н).$$

Для упрощения можно принять: $\tau_В = \tau_С = \tau_Н$. Потери короткого замыкания в обмотках высшего, среднего и низшего напряжения, кВт:

$$\Delta P_{кзВ} = 0{,}5(\Delta P_{кзВ-С} + \Delta P_{кзВ-Н} - \Delta P_{кзС-Н});$$

$$\Delta P_{кзС} = 0{,}5(\Delta P_{кзВ-С} + \Delta P_{кзС-Н} - \Delta P_{кзВ-Н});$$

$$\Delta P_{кзН} = 0{,}5(\Delta P_{кзС-Н} + \Delta P_{кзВ-Н} - \Delta P_{кзВ-С}).$$

Если в каталогах для трехобмоточных трансформаторов приведена величина потерь короткого замыкания только для пары обмоток высшего и низшего напряжения $\Delta P_{кзВ}$, то при одинаковой мощности всех обмоток принимают

$$\Delta P_{кзВ} = \Delta P_{кзС} = \Delta P_{кзН} = 0{,}5 \Delta P_{кзВ-Н}.$$

РАЗРАБОТКА ЧЕРТЕЖА ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПОДСТАНЦИИ

На чертеже главной схемы соединений должны быть показаны: трансформаторы – силовые измерительные и СН, отходящие линии, сборные шины РУ всех напряжений, выключатели, разъединители, отделители, короткозамыкатели, реакторы, предохранители и токоведущие части РУ. Кроме того, на ней рядом с основным оборудованием показываются все относящиеся к нему контрольно-измерительные приборы.

Главные схемы изображаются в однолинейном исполнении, при отключенном положении всех элементов установки.

Все элементы схемы и связи между ними изображаются в соответствии с ЕСКД. При необходимости допускается размеры графических обозначений пропорционально увеличивать или уменьшать по сравнению с рекомендованными ГОСТами.

Графические изображения на чертеже должны быть наглядны, удобны для чтения, с минимально возможным числом пересечений и равномерным заполнением листа.

Силовые трансформаторы изображаются со схемами соединений их обмоток. Обычно силовые трансформаторы имеют группу соединений. Нулевые выводы силовых трансформаторов соединяются с землей по схеме, соответствующей режиму работы нейтрали сети. Нулевые точки силовых трансформаторов 110–220 кВ заземляются через разъединитель. Так как изоляция нулевых выводов указанных трансформаторов позволяет работу с изолированной нейтралью, то для снижения уровней однофазных КЗ в отдельных случаях на части трансформаторов подстанций их нейтрали разделяются. В таком режиме работы для защиты изоляции трансформатора от атмосферных перенапряжений должен быть предусмотрен ограничитель перенапряжений (ОПН), включаемый параллельно разъединителю. При выборе указанных разъединителей и ОПН их рабочее напряжение принимается на класс меньше напряжения высокой стороны трансформатора.

Присоединения к сборным шинам компонуются таким образом, чтобы исключить по шинам большие перетоки мощности. Поэтому присоединения трансформаторов должны чередоваться с отходящими линиями, а шиносоединительные и обходные выключатели располагаются в средней части шин. Здесь же устанавливают ОПН и трансформаторы напряжения, без выведения для них отдельных ячеек. При секционированных системах шин присоединения размещаются так, чтобы нагрузка по секциям была одинаковой.

При большом количестве однотипных присоединений на каждой секции сборных шин или групповой сборке линейных реакторов разрешается показывать только 2–3 присоединения, изобразив при этом на шинах место разрыва, а действительное число присоединений указывается надписью.

Для обеспечения безопасности людей при проведении ремонтных работ на оборудовании электрических подстанций необходимо ремонтируемую цепь отключить, создать видимый разрыв и заземлить. Это производится при помощи выключателей и разъединителей с заземляющими ножами.

Число и размещение в цепях присоединений определяется их назначением. Места установки заземляющих ножей на разъединителях намечаются исходя из условий возможности заземления при ремонтах любых участков подстанции. Обычно заземляющие ножи

предусматриваются с двух сторон на линейных разъединителях, шинных разъединителях трансформаторов напряжения и разъединителях секционных выключателей. На шинных разъединителях других присоединений – заземляющие ножи устанавливаются только со стороны выключателя.

Измерительные трансформаторы тока (ТА) в сетях с заземленной нейтралью устанавливаются в трех фазах каждой цепи схемы. В установках с изолированной нейтралью ТА могут предусматриваться в двух фазах, если применяемые виды релейных защит не требуют питание от трех фаз.

Каждый ТА напряжением 6–20 кВ выполняется с двумя вторичными обмотками, 35–110 кВ – с тремя, 220 кВ – четырьмя.

Количество ТА в каждой цепи определяется по [5, с. 295] и зависит от назначения цепи, видов защит и других факторов.

На подстанциях обычно используются встроенные в аппараты ТА. Они имеются в нулевых выводах трансформаторов и автотрансформаторов (типа ТВТ). Кроме того, встроенные ТА предусматриваются для установки на вводах 35 кВ и выше масляных баковых выключателей (типа ТВ, ТВС, ТВД и ТВУ) и силовых трансформаторов и автотрансформаторов (ТВТ).

Трансформаторы тока, встроенные в выключатель, показываются на схеме с двух сторон условного изображения выключателя (по два ТА с каждой стороны).

Недостающие ТА устанавливаются отдельностоящими. При этом их место размещения выбирается таким образом, чтобы их вывод в ремонт производился совместно с выключателями цепей (до выключателя со стороны трансформатора или линии).

Трансформаторы напряжения (TV) обычно устанавливаются:

– на секциях сборных шин всех напряжений – один пятистержневой типа НТМИ, НАМИТ или комплект однофазных типа ЗНОЛ;

– на каждой сборке групповых линейных реакторов – два однофазных TV, включенных по схеме неполного треугольника (для питания счетчиков линии).

В главной схеме необходимо предусмотреть защиту изоляции от атмосферных и коммутационных перенапряжений.

Коммутационные перенапряжения в РУ 330 кВ и ниже ограничиваются до допустимых величин выбором рационального способа заземления нейтрали трансформаторов в РУ более высокого напряжения — путем применения выключателей с шунтирующими сопротивлениями, коммутационных разрядников и искрового присоединения реакторов поперечной компенсации.

В РУ напряжением до 330 кВ ОПН размещаются на сборных шинах и присоединяются к ним совместно с TV через обычный разъединитель. Кроме того, ОПН устанавливаются на выводах высшего и среднего напряжения трансформаторов (автотрансформаторов), удаленных от РУ на расстояние более 16 метров.

На отходящих линиях электропередач 35 кВ и выше показываются аппараты высокочастотной обработки (конденсаторы связи, фильтры присоединения и заградители) отдельных фаз для образования каналов связи по проводам ЛЭП.

Конденсатор связи создает путь для токов высокой частоты от приемо-передатчика в линию и одновременно отделяет приемопередатчик от высокого напряжения промышленной частоты линии. Одним из типов конденсаторов связи являются бумажно-масляные конденсаторы типа СМР–55/3-0,044. На линиях 110 кВ устанавливаются два таких элемента, соединяемых последовательно, на линиях 220 кВ – четыре.

Фильтр присоединения согласовывает входное сопротивление высокочастотного кабеля с входным сопротивлением линии, соединяет конденсатор связи с землей, образуя таким образом замкнутый контур для токов высокой частоты. Фильтр присоединения ОФП-4, выпускаемый промышленностью, выполняется на три диапазона, охватывающие частоты 50 … 300 кГц.

Заградитель преграждает выход токов высокой частоты за пределы линии. Выпускаемые отечественной промышленностью заградители

КЗ-500 рассчитаны на рабочий ток 700 А с пределами настройки 50 … 300 кГц.

Высокочастотную обработку всех трех фаз выполняют на ЛЭП 330 кВ и выше. При меньших напряжениях обработка выполняется на двух, реже – на одной фазе.

В принятую в начале проектирования схему вносятся все изменения и уточнения, которые были выявлены в результате выполнения по следующих разделов проекта.

На чертеже главной схемы рядом с условными обозначениями аппаратов, слева и сверху от них, приводятся номенклатурные обозначения типов, номинальные параметры и другие их характеристики. Все надписи рекомендуется выносить «в рамочках», как это принято в проектных организациях, чтобы они не затемняли схему. Надписи выполняются для одного присоединения каждого типа.

У сборных шин указывается номинальное напряжение, материал и их сечение. На токопроводах – тип, материал и сечение токоведущей части.

КОМПАНОВКА И КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Классификация РУ, общие требования, порядок проектирования РУ

Классификация РУ. Существуют два основных вида РУ: закрытые (ЗРУ) и открытые (ОРУ), оборудование которых расположено соответственно в зданиях и на открытом воздухе. ЗРУ в основном применяются на напряжениях 3–20 кВ. В установках больших напряжений (35–220 кВ) ЗРУ применяются только при ограниченности площади для РУ при избыточной загрязненности атмосферы. Применяются ОРУ на напряжениях 35–1150 кВ, т. к. при этих напряжениях ОРУ обладают существенными преимуществами по сравнению с ЗРУ: меньший объем строительных работ, существенная экономия строительных материалов; меньшие капитальные затраты, сроки сооружения и т. д. ОРУ имеет и ряд недостатков по сравнению с ЗРУ: менее удобное обслуживание, большая занимаемая площадь; подверженность аппаратов атмосферным воздействиям.

Классификация РУ может быть продолжена по другим признакам, например, по методам сооружения: сборные РУ, в которых большая часть электромонтажных работ производится на месте установки и комплектные РУ заводского изготовления с минимальным объемом электромонтажных работ на месте установки.

Сборные РУ собирают из отдельных элементов и узлов (шкафы, ячейки, панели и др.), изготовленных и укомплектованных на заводах или в специализированных мастерских. Чем крупнее конструктивные узлы заводского изготовления, тем проще проектирование и тем полнее степень индустриализации сооружения таких РУ.

Комплектные РУ составляются (компенсируются) из полностью или частично закрытых шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, поставляемых в собранном виде или в полностью подготовленном для сборки виде и готовых после установки к включению под напряжение. Комплектные РУ выпускаются как для внутренней (КРУ), так и для наружной (КРУН) установки. Комплектные РУ становятся самой распространенной формой исполнения РУ.

Вместе с тем, широко применяются также РУ смешанного типа, выполняемые частично как сборные и частично как комплектные.

В настоящее время выпускаются комплектные РУ лишь на напряжение 6–35 кВ и для схемы с одной системой сборных шин. Сборные РУ могут быть выполнены при любой схеме электрических соединений.

Здания ЗРУ в настоящее время обычно выполняют из сборных железобетонных конструкций, конструкции ОРУ из сборного железобетона или металла. Железобетонные элементы стандартизированы и размеры здания ЗРУ согласуют с размерами железобетонных

конструкций: ширина здания может быть только кратной трем (6, 9, 12 или 15 м), строительный шаг по длине равен только 6 и 12 м, по высоте обычно 4,8 – 6 м. Применение сборного железобетона позволяет ускорить и осуществить строительство.

Основные требования, предъявляемые к РУ любого вида, заключаются в их безопасности для людей, надежности и экономичности

К проектированию конструкций РУ приступают после того, как разработана главная схема электрических соединений, выбраны электрические аппараты и токоведущие части.

Основой для проектирования конструкции РУ при проектировании конкретной подстанции служат типовые конструктивные решения, разработанные ведущими проектными организациями.

По РУ в пояснительной записке должно быть дано обоснование принимаемой конструкции и краткое описание.

При выполнении чертежей должны соблюдаться следующие требования:

1. Схема разработанного РУ должна соответствовать главной электрической схеме.

2. Размеры и внешний вид электрических аппаратов, изоляторов и шин долины быть вычерчены в соответствии с требованиями ЕСКД.

3. На конструктивном чертеже должны быть указаны размеры строительных конструкций и все электрические расстояния, нормируемые ПУЭ, а также приведена спецификация электрических аппаратов, изоляторов и шин.

Общие требования к написанию и оформлению работы.

Курсовой проект рекомендуется представлять в объеме 30-40 листов. Текст работы должен быть напечатан через 1,5 интервала на одной стороне стандартного листа белой бумаги (А-4). Текст и другие отпечатанные элементы работы должны быть черными, контуры букв и знаков четкими, без ореола и затенения. Шрифт Times New Roman, кегель 14. Названия глав и параграфов выделяются полужирным шрифтом. Лист с текстом должен иметь поля: слева - 30 мм, справа - 10 мм, сверху - 20 мм, снизу 20 мм.

Нумерация страниц текста делается в правом нижнем углу листа. Проставлять номер страницы необходимо со страницы, где печатается «Введение», на которой ставится цифра «4». После этого нумеруются все страницы, включая приложения.

Между названием главы и названием параграфа этой главы ставится пробел равный двум интервалам, а название параграфа не должно отделяться от текста этого параграфа пробелом. Названия параграфов отделяются от текста предыдущего параграфа пробелом, равным двум интервалам. Каждая глава, а также введение, выводы, приложения и список использованной литературы начинаются с новой страницы. Главы имеют порядковые номера в пределах всей работы, обозначаемые арабскими цифрами (например: 1, 2, 3), после которых ставится точка. Слово «параграф» или значок параграфа в названии не ставятся. Параграфы имеют порядковые номера в пределах глав, обозначаемые арабскими цифрами (например: 1.1. и 1.2.). Заголовки глав и параграфов в тексте работы должны располагаться по центру, точку в конце названия главы и параграфа не ставят. Не допускается переносить часть слова в заголовке.

Нумерация таблиц и рисунков может быть сквозной или соотноситься с номером главы и параграфа. Например, если таблица или рисунок включены в текст первого параграфа второй главы, нумерация следующая: Таблица 2.1.1., рис. 2.1.1. Последняя цифра означает порядковый номер таблицы (или рисунка) в данном параграфе. Таблица помещается в качестве следующей страницы после первого упоминания о ней в тексте (см. рис. 2.1.1).

Образец оформления формулы и уравнения

$$S = ab, \qquad (2.1.1)$$

где S – площадь прямоугольника, м^2;

a и b – длины сторон прямоугольника, м.

Образец оформления таблиц

Таблица 2.1.1

Историко-культурные объекты региона

Вид памятника	Федерального значения	Местного значения	Вновь выявлено	Всего
Архитектурные	15	328	812	1155
Археологии	3	144	183	330
Истории	9	220	66	295
Искусства	1	49	6	66
Садово-парковые	-	17	-	17
Итого	28	758	1067	1853

При переносе таблицы на другую страницу ее графы должны быть выделены отдельной строкой и пронумерованы. Над продолжением пишут «Продолжение таблицы …», «Окончание таблицы …». Нижнюю горизонтальную черты, ограничивающую первую часть таблицы, не проводят.

Например:

Таблица 2.1.1

Количество туристов проживающих в гостинице «Нева» в мае

456		566		
567		678		

Окончание таблицы 2.1.1

Образец оформления рисунков

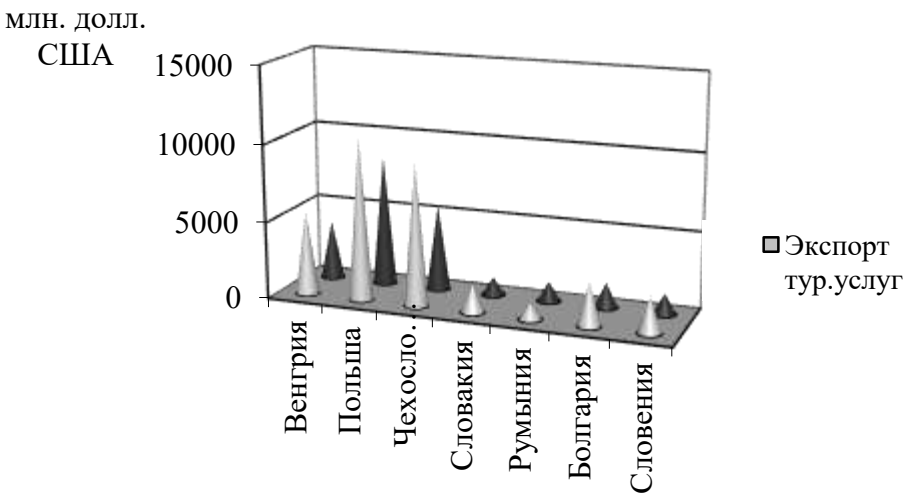


Рис. 2.1.1 Экспорт и импорт туристических услуг в 2014, млн.руб.

Оформление ссылок

При ссылке в тексте на источники нужно писать порядковый номер источника в списке использованных источников. Порядковый номер источника заключается в квадратную скобку. Если ссылаетесь на конкретную страницу данного источника, то эта страница тоже указывается. Например: [9], [9, с. 123].

Сноски оформляются внизу страницы, на которой расположен текст примечания. Для этого в конце теста примечания ставится звездочка (*) или цифра ([1]), которая обозначает порядковый номер примечания. Например:

---

[1]Федоров Г.М. Социально-экономическое развитие Калининградской области: учебное пособие. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2016. С. 25.

Если на одной и той же странице цитируется одна и та же книга, во второй сноске можно не повторять полностью ее название;

---

[1] Там же. С. 34.

Если та же книга цитируется на других страницах курсовой работы, то указывается ее автор, а вместо названия пишется «Указ. соч.». Например:

---

[1]Федоров Г.М. Указ. соч. С. 5.

Графическая часть проекта выполняется на компьютере на стандартном листе чертежной бумага формата А1 и должна содержать:

- принципиальная электрическая схема проектируемой сети (А1);
- промежуточная одноцепная опора (А1);

Последовательность выполнения задания

Руководство курсовыми проектами начинается с выдачи задания студентам. В этот период необходимым условием, обеспечивающим эффективность дальнейшего руководства, является индивидуальная беседа руководителя со студентом по заданию. В ходе беседы руководитель должен выяснить степень подготовленности студента к выполнению данного задания, рекомендовать необходимую литературу и информировать о порядке выполнения задания.

Одной из важных форм руководства является предварительный просмотр выполненного курсового проекта. После проверки руководителем выполнения одного этапа работы студенту (в случае положительного заключения) разрешается перейти к следующему этапу.

В целом последовательность выполнения курсового проекта можно представить в виде следующих этапов работы:

- первый этап (1-2 неделя) - составление плана работы и календарного плана работы на весь период;

- второй этап (3-4 неделя) - систематическая работа над литературой: сбор и анализ материала по рассматриваемой теме;

- на третьем этапе (5-16 недели) – работа над основной частью курсового проекта, которая содержит теоретическую и проектную части;

-на четвертом этапе (17-18 недели) – оформление и предоставление проекта на кафедру.

Критерии оценивания работы

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он показал глубокое и хорошо аргументированное обоснование проектных решений; четкую формулировку и понимание изучаемой пробдемы; широкое и правильное использование относящейся к теме литературы и примененных аналитических методов; проявлено умение делать обобщения на основе отдельных деталей. Содержание проекта и ход защиты указывают на наличие навыков работы студента в данной области. Оформление курсового проекта и графического материала соответствует предъявляемым требованиям с наличием необходимой библиографии. Защита курсового проекта показала повышенную подготовленность студента и его склонность к аналитической и проектной работе.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если присутствует аргументированное обоснование проектных решений; четкая формулировка и понимание изучаемой проблемы; использование ограниченного числа литературных источников, но достаточного для проведения проектирования. Работа основана на среднем по глубине анализе изучаемой проблемы и при этом сделано незначительное число обобщений. Содержание проекта и ход защиты указывают на наличие практических навыков работы студента в данной области. Оформление курсового проекта и графического материала соответствует предъявляемым требованиям с наличием необходимой библиографии. Ход защиты курсового проекта показал достаточную теоретическую и практическую подготовку студента.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если присутствует достаточное обоснование проектных решений, но отсутствует глубокое понимание рассматриваемой проблемы. В библиографии даны в основном ссылки на стандартные литературные источники. Труды, необходимые для всестороннего изучения проблемы, использованы в ограниченном объеме. Заметна нехватка компетентности студента в данной области знаний. Оформление курсового проекта и графического материала с элементами небрежности. Защита курсового проекта показала удовлетворительную теоретическую и практическую подготовку студента, ограниченную склонность к научной работе.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если проектные решения ошибочны. суждения по исследуемой проблеме не всегда компетентны. Неточности и неверные выводы по изучаемой литературе. Курсовой проект и графический материал оформлен с элементами заметных отступлений от принятых требований. Во время защиты студентом проявлена ограниченная научная эрудиция.

Порядок защиты работы

Защита состоит в коротком докладе студента по выполненной работе и в ответах на вопросы присутствующих на защите. Научный руководитель характеризует работу студента над курсовым проектом.

Результаты защиты курсового проекта, согласно действующему Положению о текущем контроле и промежуточной аттестации в СКФУ, оцениваются дифференцированной отметкой по пятибалльной системе. Оценка курсового проекта заносится в зачетную книжку студента и зачетно-экзаменационную ведомость.

Защита курсовых проектов, предусмотренных учебным планом, проводится не позднее, чем за две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии.

Студент, не представивший в установленный срок курсовой проект или не защитивший его по неуважительной причине, считается имеющим академическую задолженность.

Курсовые проекты, представляющие теоретический и практический интерес, следует представлять на конкурс в студенческие научные общества, конференции, отмечать приказом по университету.

Выполненные работы после их защиты должны храниться на кафедре в течение 2 лет, не считая года написания; затем работы, не представляющие для кафедры интерес, уничтожаются по акту.

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Рос-сийской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316

2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции : учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Феде-рации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 61-63 - ISBN 978-5-7410-1542-1 ; То же [Электронный ре-сурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847

Перечень дополнительной литературы:

1. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - 2-е изд. доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. - 149 с. : ил. - Библиогр.: с. 114 - ISBN 978-5-9729-0207-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493858

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

3. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. http://www.biblioclub.ru -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. http://www.iprbookshop.ru/ - Электронно- библиотечная система IPRbooks

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

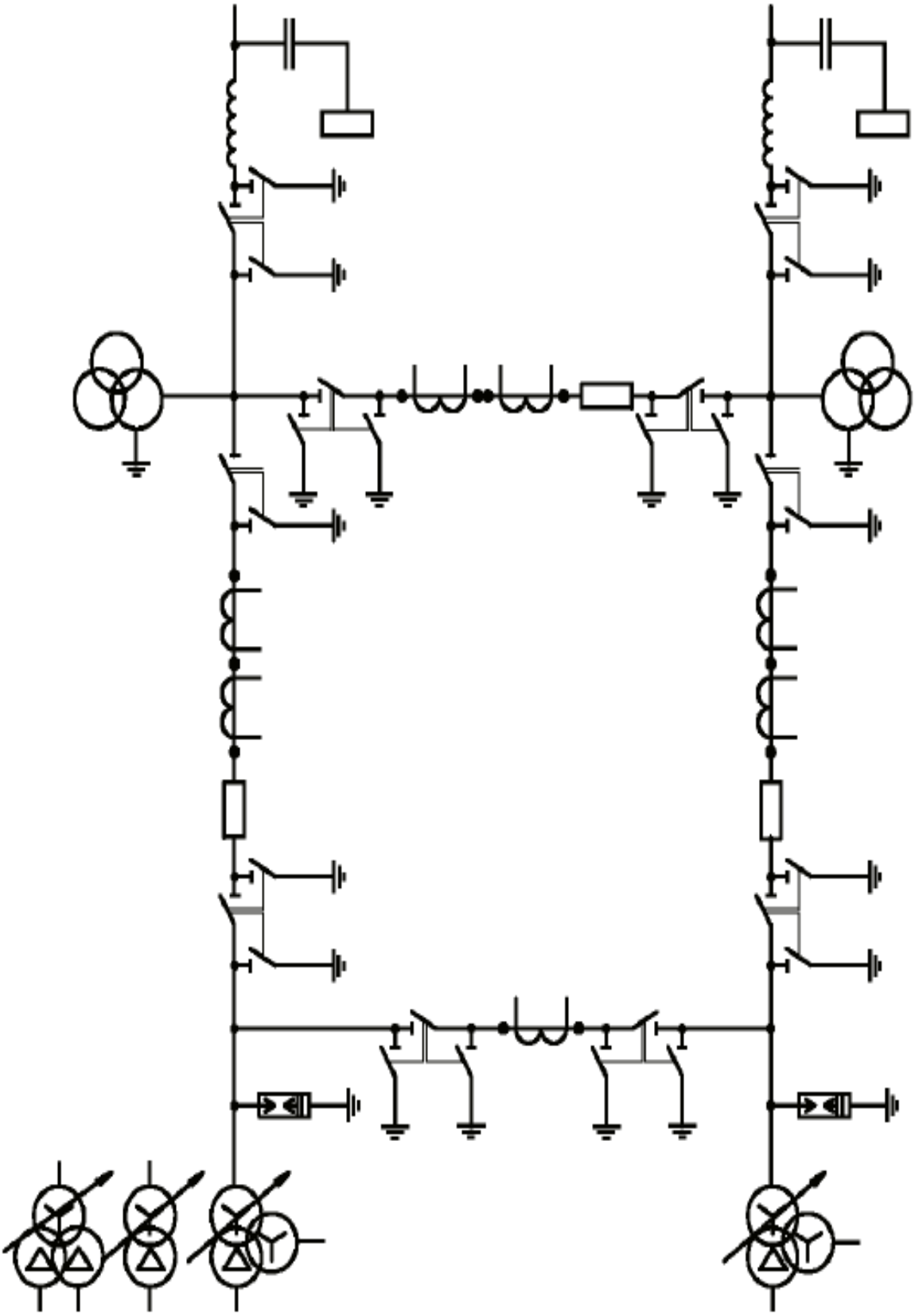
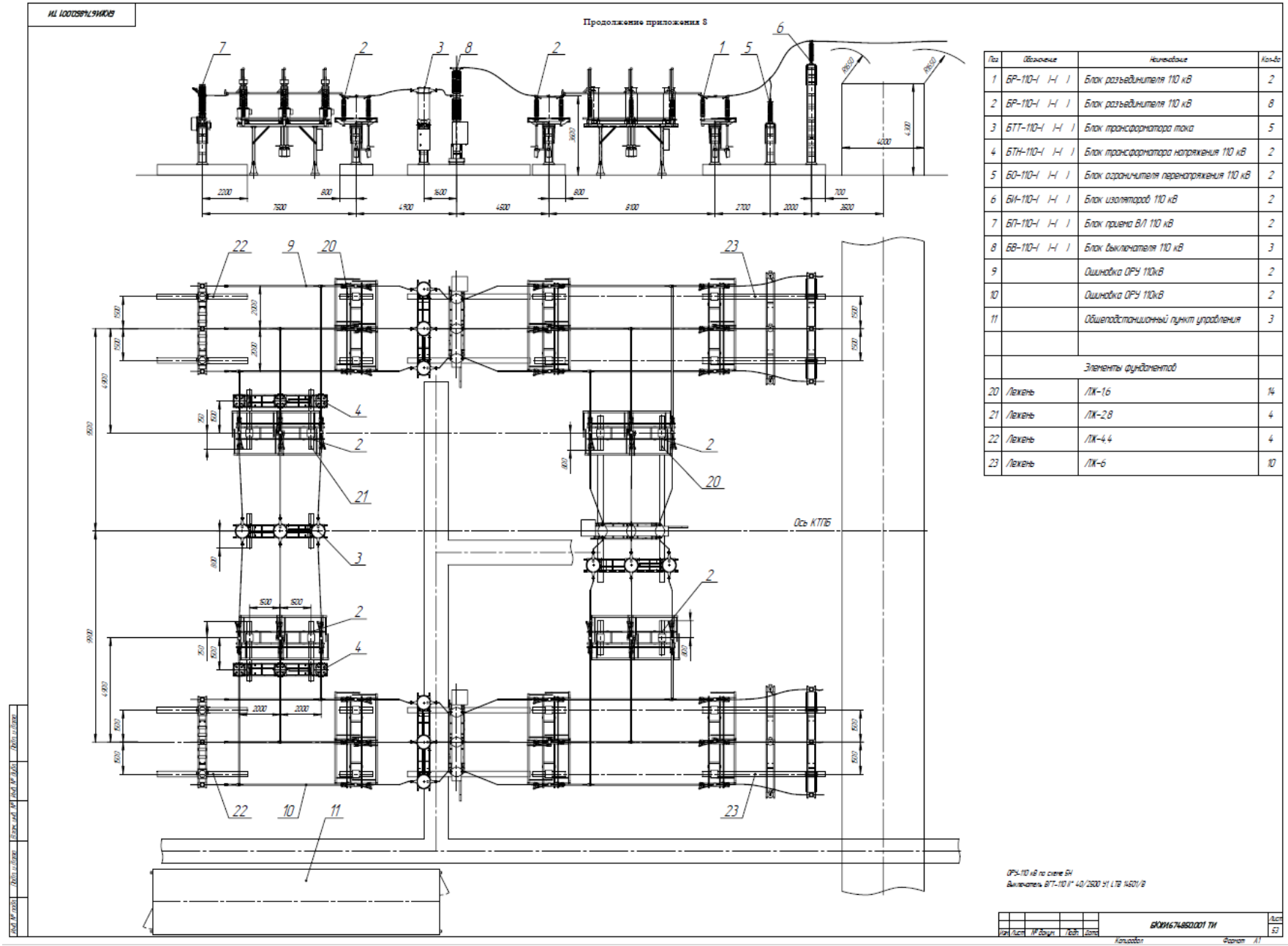


Рисунок П1.1 – Фрагмент однолинейной схемы ОРУ подстанции



Поз	Обозначение	Наименование	Кол-во
1	БР-110-I I-I I	Блок разъединителя 110 кВ	2
2	БР-110-I I-I I	Блок разъединителя 110 кВ	8
3	БТТ-110-I I-I I	Блок трансформатора тока	5
4	БТН-110-I I-I I	Блок трансформатора напряжения 110 кВ	2
5	БО-110-I I-I I	Блок ограничителя перенапряжения 110 кВ	2
6	БИ-110-I I-I I	Блок изоляторов 110 кВ	2
7	БП-110-I I-I I	Блок привода ВЛ 110 кВ	2
8	БВ-110-I I-I I	Блок выключателя 110 кВ	3
9		Ошиновка ОРУ 110кВ	2
10		Ошиновка ОРУ 110кВ	2
11		Общеподстанционный пункт управления	3
		Элементы фундаментов	
20	Лежень	ЛК-16	14
21	Лежень	ЛК-28	4
22	Лежень	ЛК-44	4
23	Лежень	ЛК-6	10

Рисунок П1.2 – Пример компоновки ОРУ подстанции

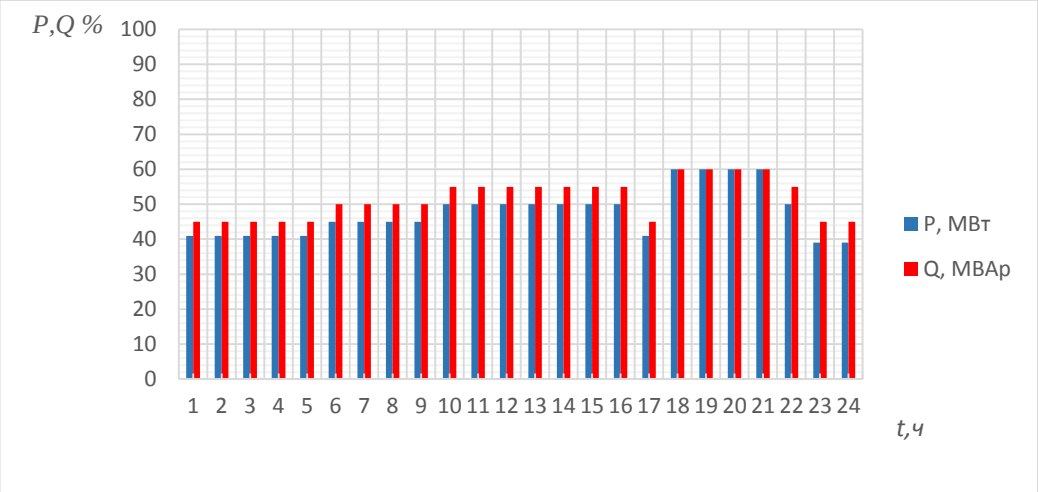
Приложение 2

Вариант 1

P_{max} = 45000 кВт, Q_{max} = 45000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 15; 2-ая – 40; 3-ая – 45.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,5 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 3,2 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 25.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

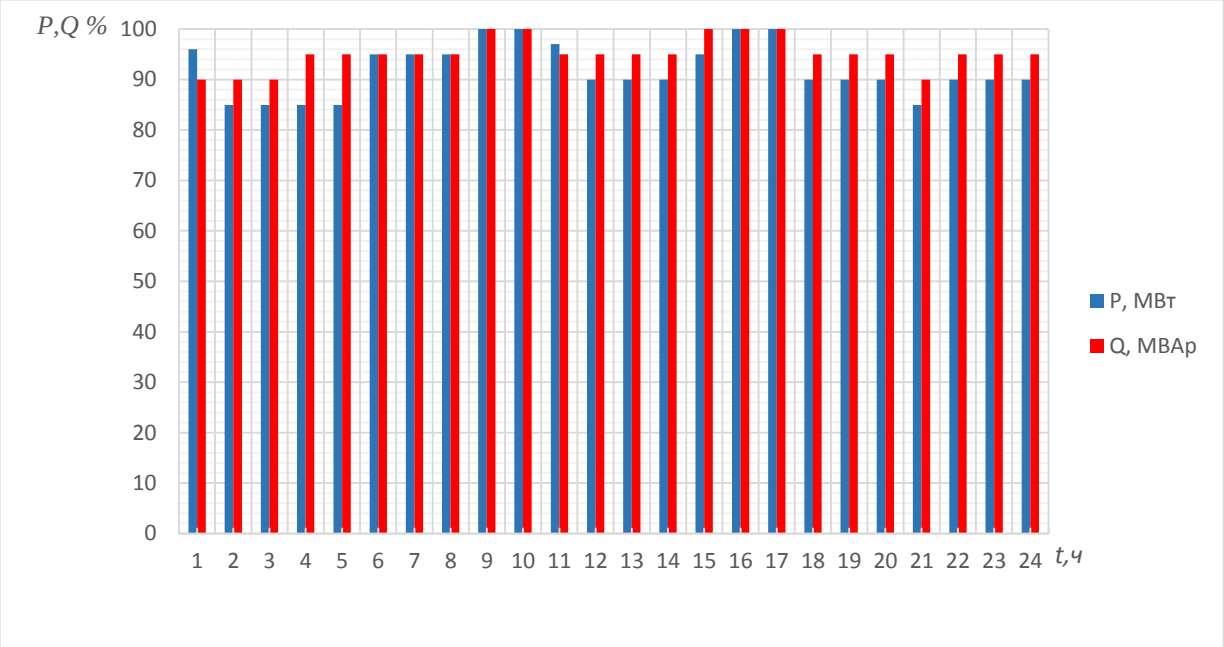
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
1760;3	30;0,39	21;0,38	14;0,38	23;0,41	19;0,4	63	40	16	80	6,3

Вариант 2

P_{max} = 40000 кВт, Q_{max} = 40000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 10; 2-ая – 30; 3-ая – 60.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,4 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2,5 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 44.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

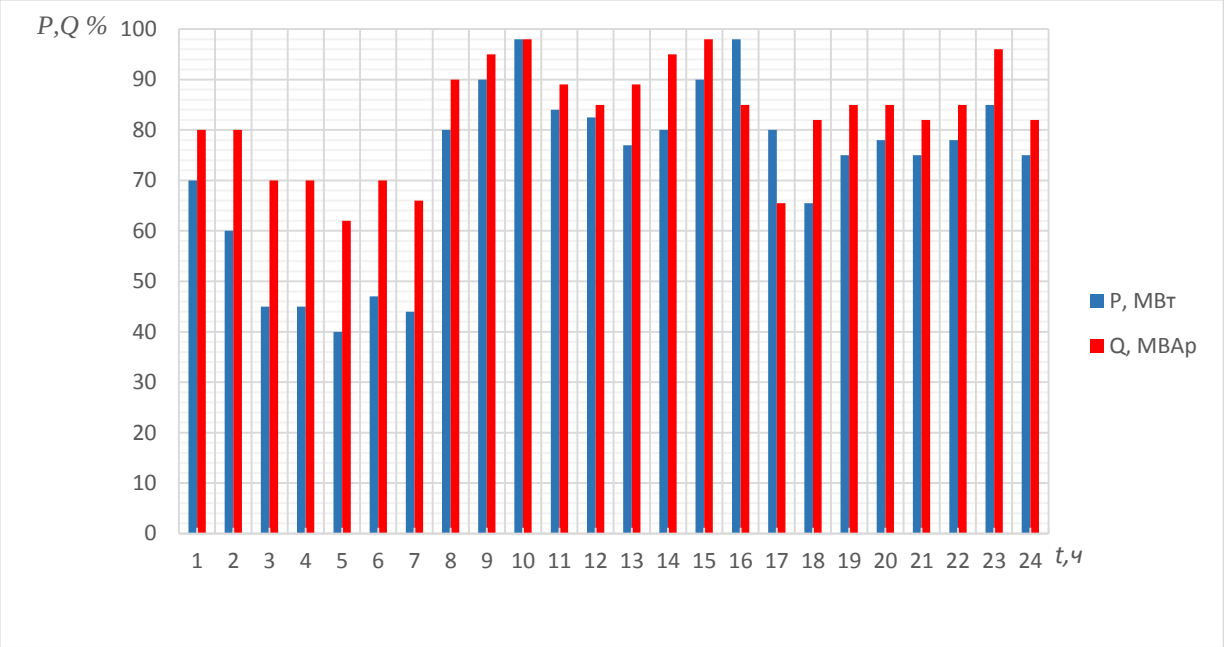
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
1800;3	32;0,42	23;0,39	12;0,42	24;0,4	20;0,41	63	25	16	80	6,3

Вариант 3

P_{max} = 70000 кВт, Q_{max} = 65000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 25; 2-ая – 35; 3-ая – 40.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,5 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 4 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 38.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПСЗ,

Параметры системы

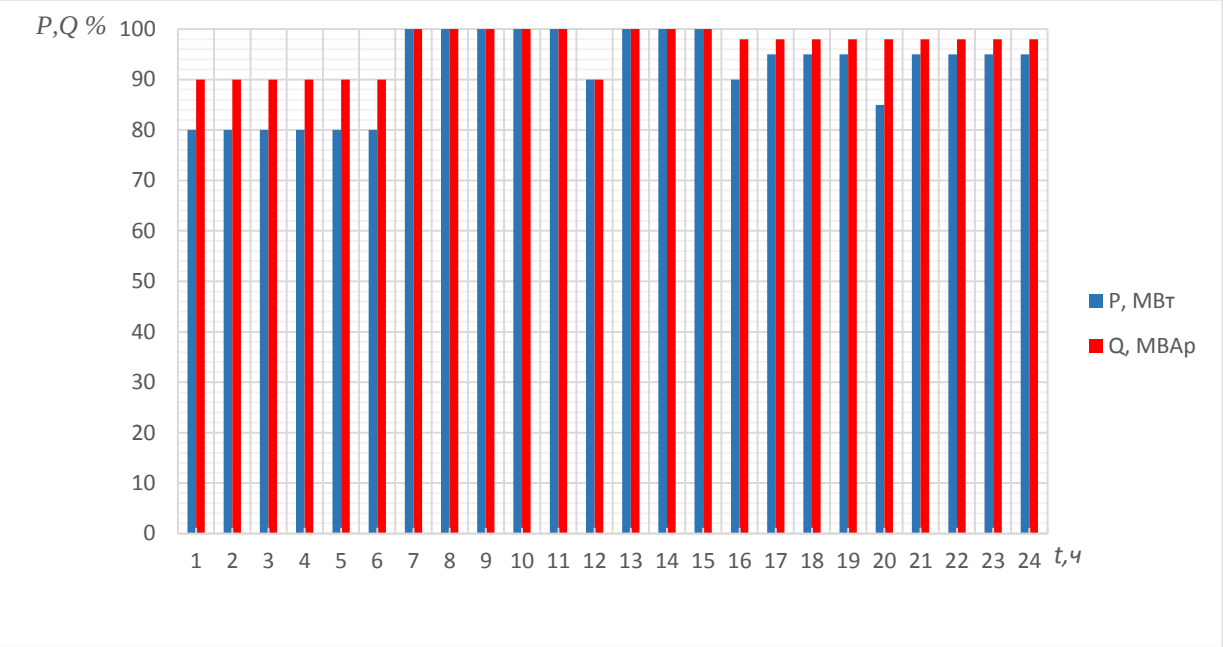
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
1900;3	28;0,38	30;0,39	14;0,42	22;0,41	21;0,42	100	40	10	125	10

Вариант 4

P_{max} = 72000 кВт, Q_{max} = 72000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 9; 2-ая – 31; 3-ая – 60.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,55 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 5 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 30.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

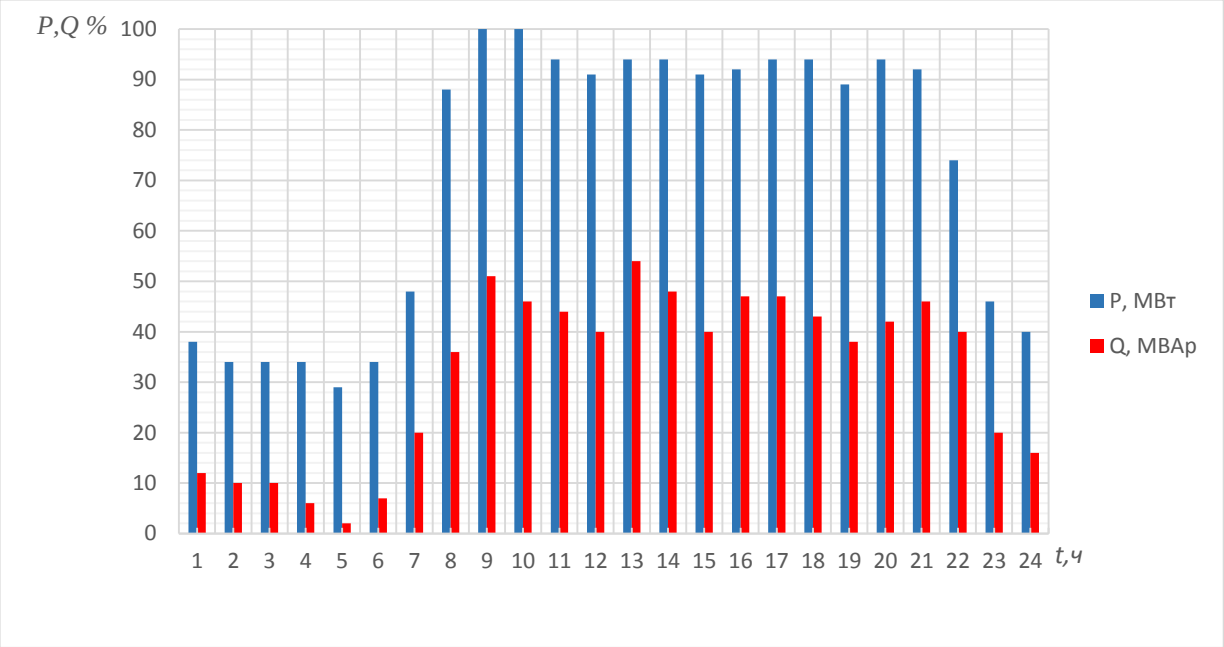
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2000;2,9	29;0,38	19;0,4	16;0,42	24;0,42	22;0,39	100	25	16	125	10

Вариант 5

P_{max} = 60000 кВт, Q_{max} = 30000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 18; 2-ая – 25; 3-ая – 57.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,5 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 3 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 22.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

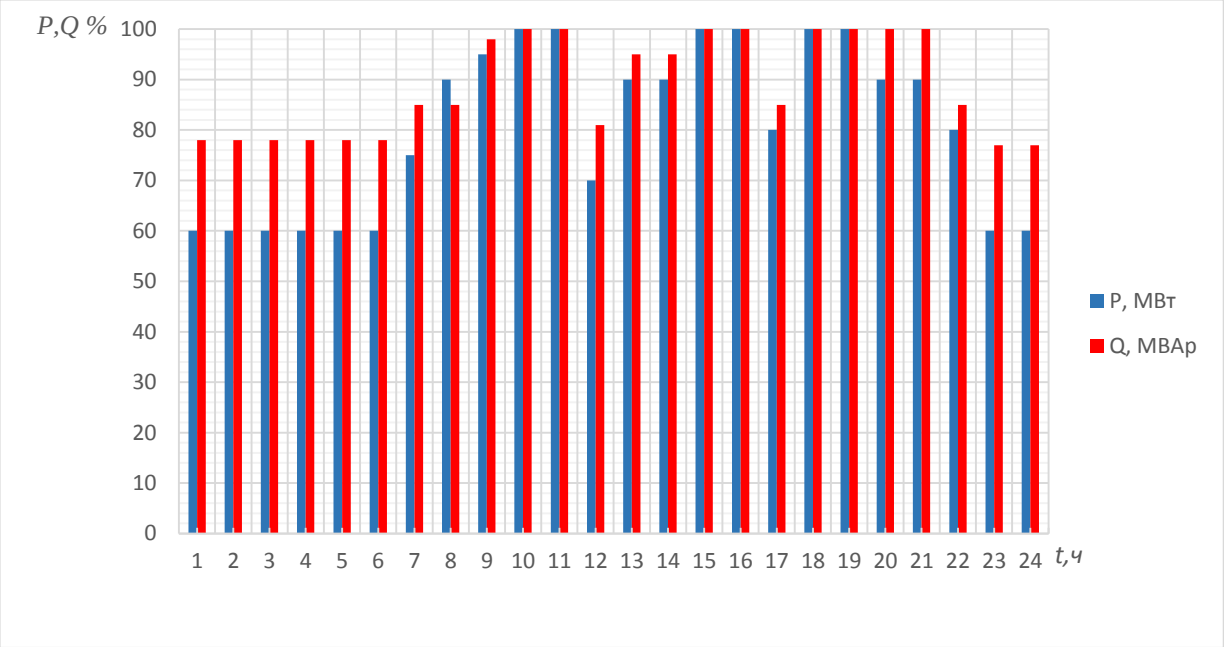
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2100;3	27;0,38	18;0,4	15;0,42	25;0,39	-	32	40	-	40	6,3

Вариант 6

P_{max} = 25000 кВт, Q_{max} = 25000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 22; 2-ая – 35; 3-ая – 43.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,45 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 18.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

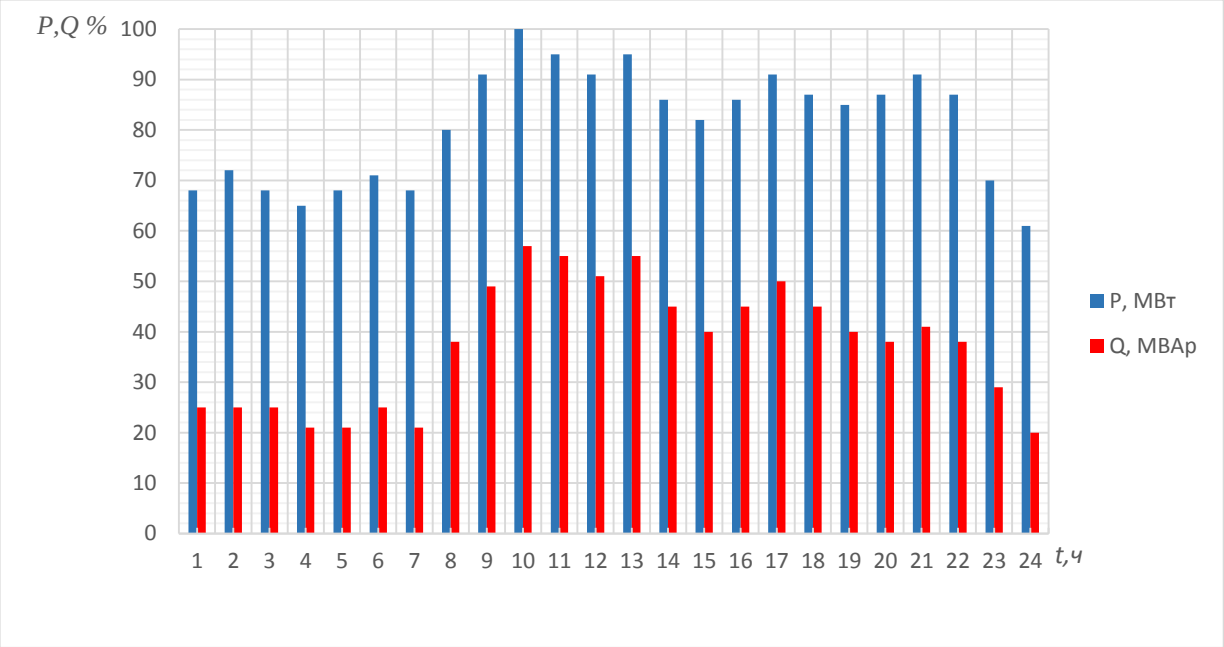
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2200;3	26;0,38	17;0,42	14;0,42	26;0,41	-	32	25	-	40	6,3

Вариант 7

P_{max} = 62000 кВт, Q_{max} = 38000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 22; 2-ая – 18; 3-ая – 60.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,6 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 3,5 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 29.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

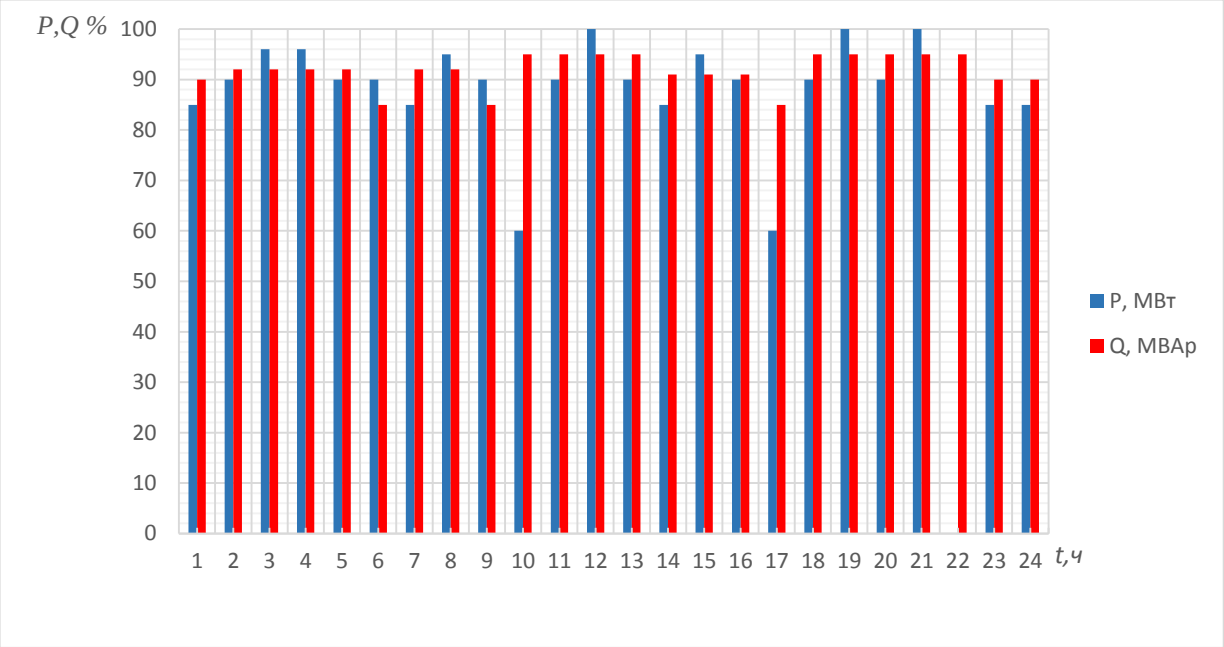
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2300;3	18;0,38	16;0,39	11;0,4	32;0,4	31;0,41	63	40	10	80	10

Вариант 8

P_{max} = 70000 кВт, Q_{max} = 65000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 25; 2-ая – 40; 3-ая – 35.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,5 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 3,8 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 35.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

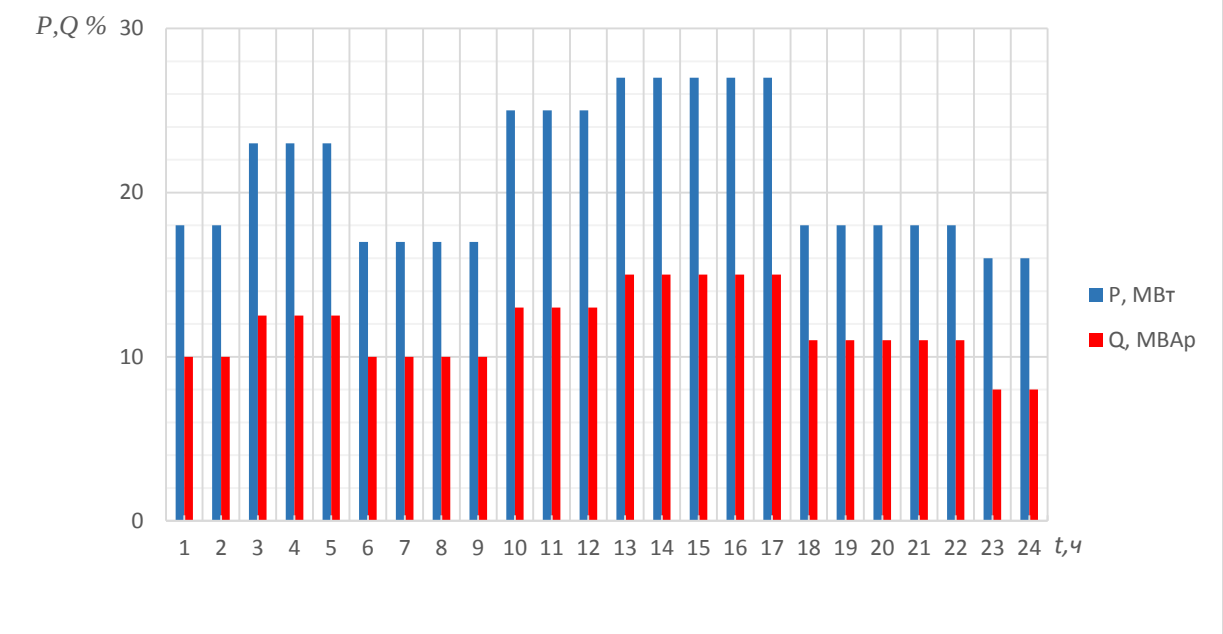
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2950;3	19;0,38	15;0,39	18;0,42	21;0,41	11;0,42	100	25	63	125	16

Вариант 9

P_{max} = 30000 кВт, Q_{max} = 15000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 22; 2-ая – 40; 3-ая – 38.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,6 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2,2 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 31.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

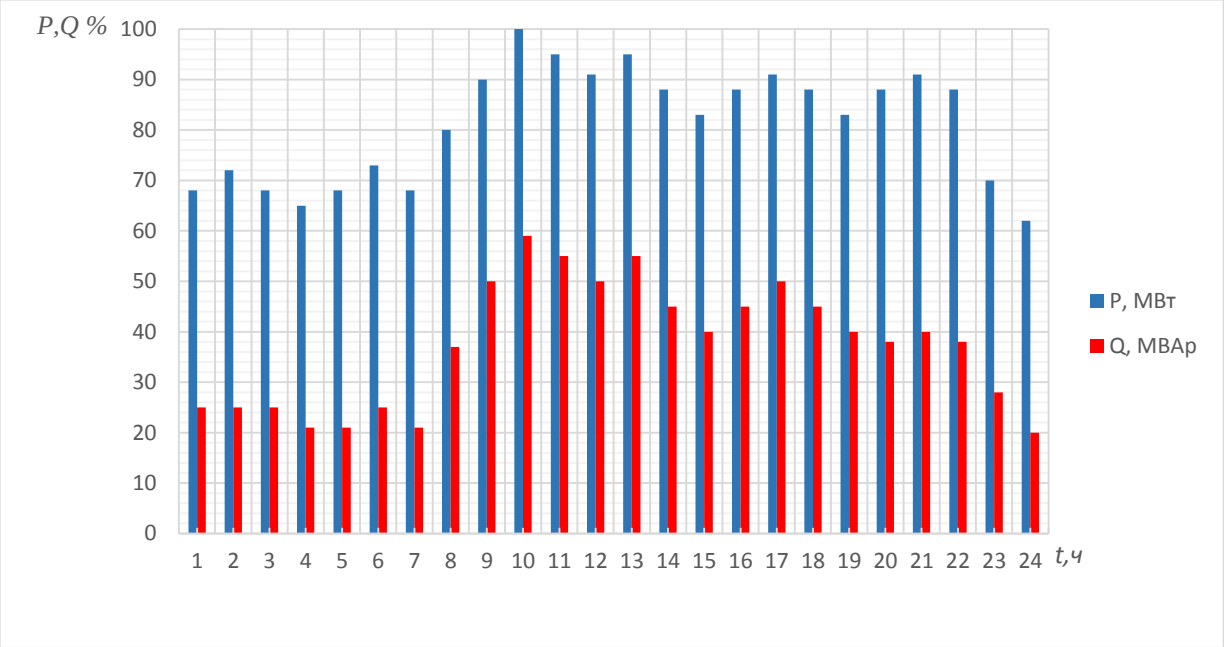
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
3000;3	21;0,38	30;0,39	15;0,41	28;0,4	18;0,4	63	40	16	80	6,3

Вариант 10

P_{max} = 50000 кВт, Q_{max} = 30000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 20; 2-ая – 30; 3-ая – 50.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,4 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2,5 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 23.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

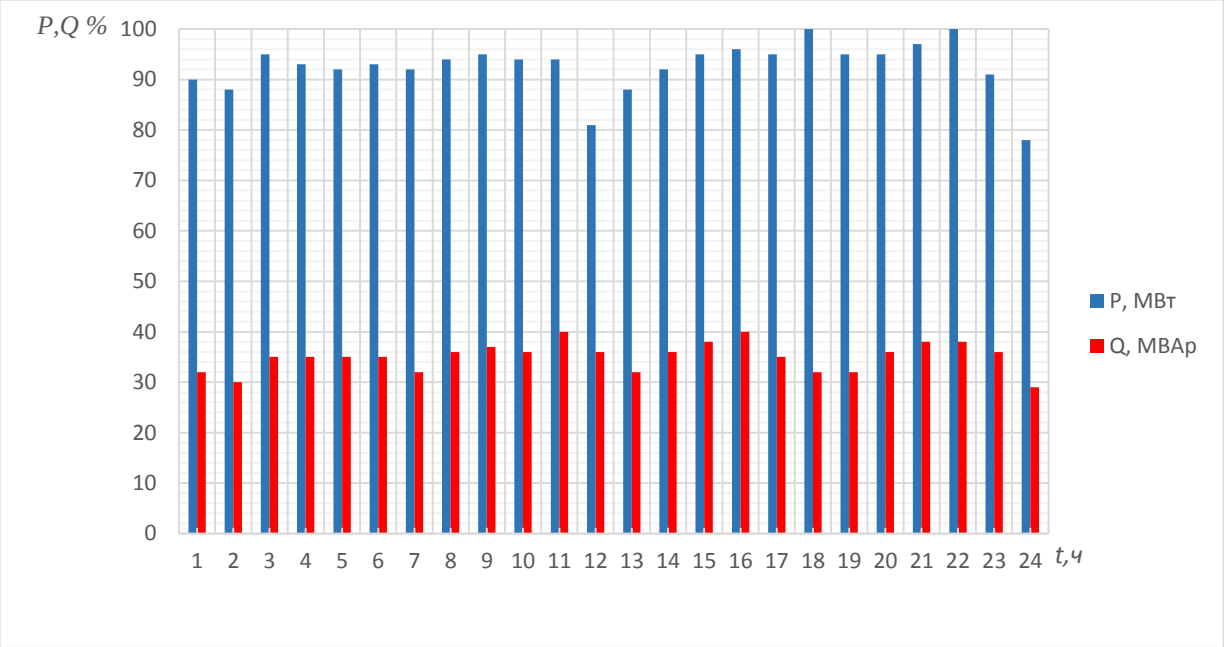
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2450;3	20;0,38	23;0,39	16;0,39	19;0,42	21;0,4	63	40	16	80	16

Вариант 11

P_{max} = 35000 кВт, Q_{max} = 15000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 15; 2-ая – 40; 3-ая – 45.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,55 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 30.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

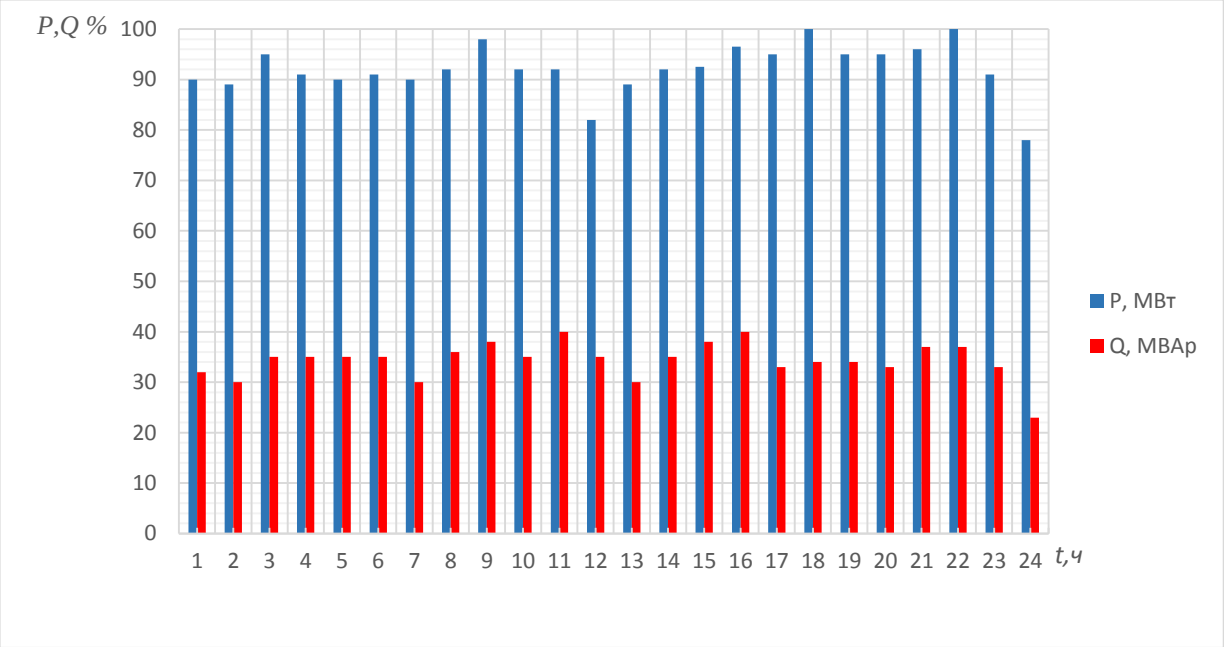
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2500;3	25;0,41	24;0,39	20;0,41	18;0,4	-	63	25	-	80	10

Вариант 12

P_{max} = 70000 кВт, Q_{max} = 60000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 18; 2-ая – 45; 3-ая – 37.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,35 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 1,8 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 22.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

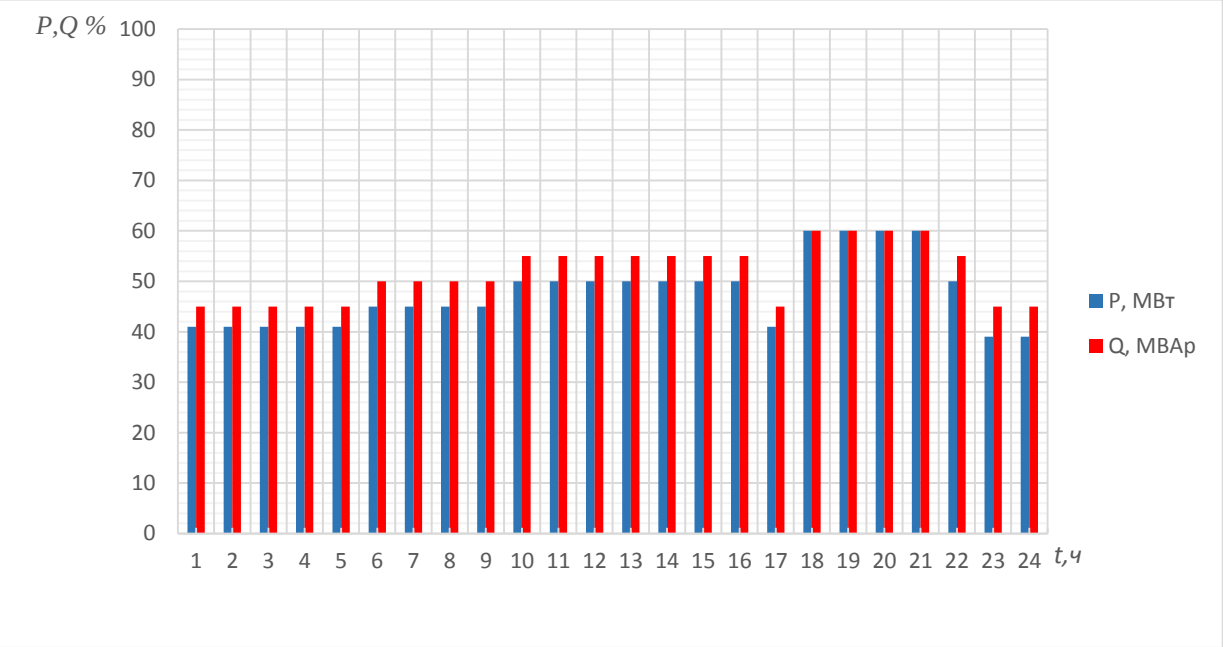
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2800;3	27;0,38	26;0,39	17;0,38	20;0,41	-	100	40	-	125	16

Вариант 13

P_{max} = 75000 кВт, Q_{max} = 62000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 25; 2-ая – 40; 3-ая – 45.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,2 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2,2 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 15.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

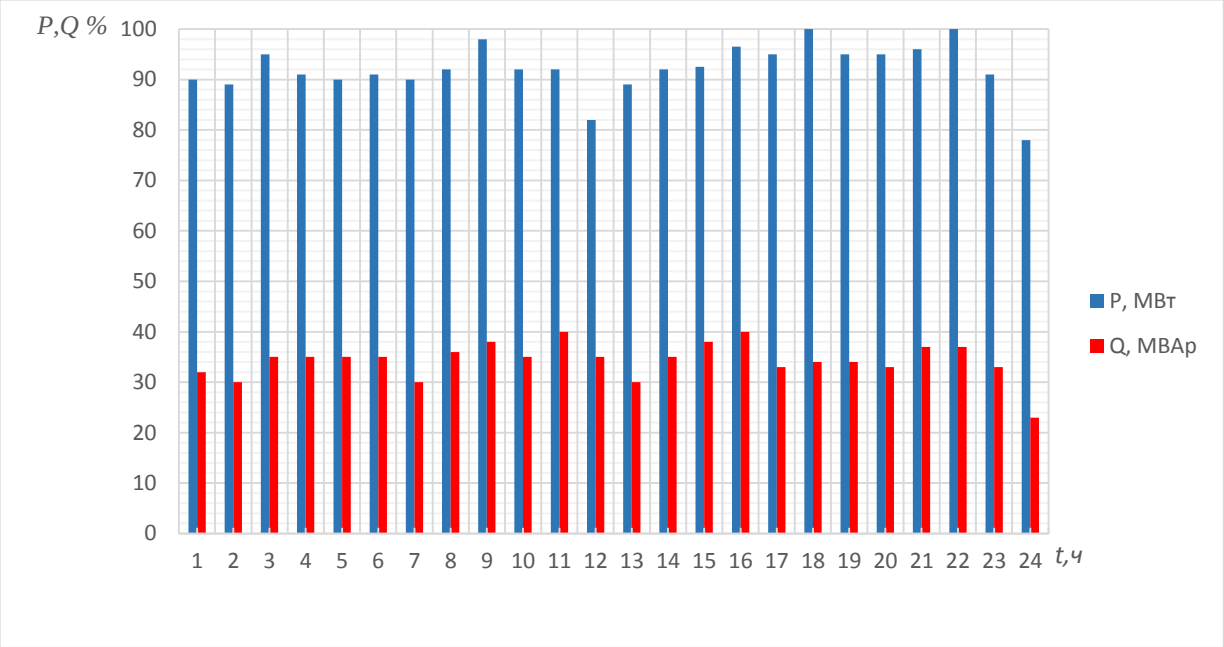
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
1760;3	30;0,39	21;0,38	14;0,38	23;0,41	19;0,4	63	40	16	80	6,3

Вариант 14

P_{max} = 35000 кВт, Q_{max} = 55000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 19; 2-ая – 35; 3-ая – 39.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,25 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 4,8 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 30.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

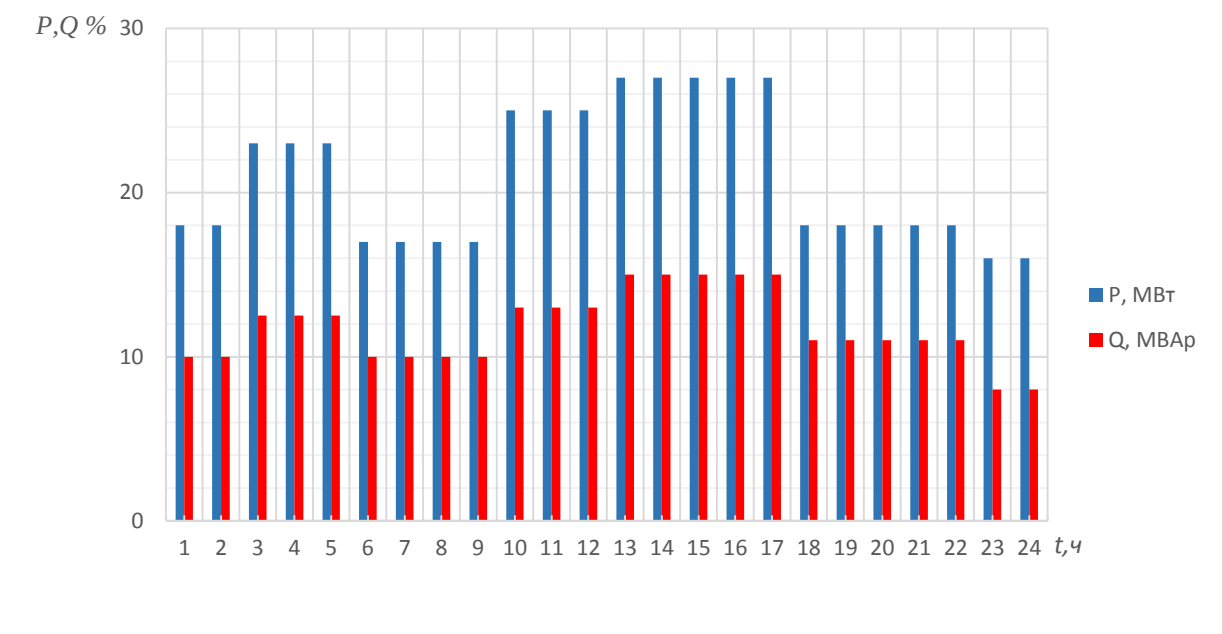
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2800;3	27;0,38	26;0,39	17;0,38	20;0,41	-	100	40	-	125	16

Вариант 15

P_{max} = 25000 кВт, Q_{max} = 20000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 15; 2-ая – 45; 3-ая – 27.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,6 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 4,2 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 51.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

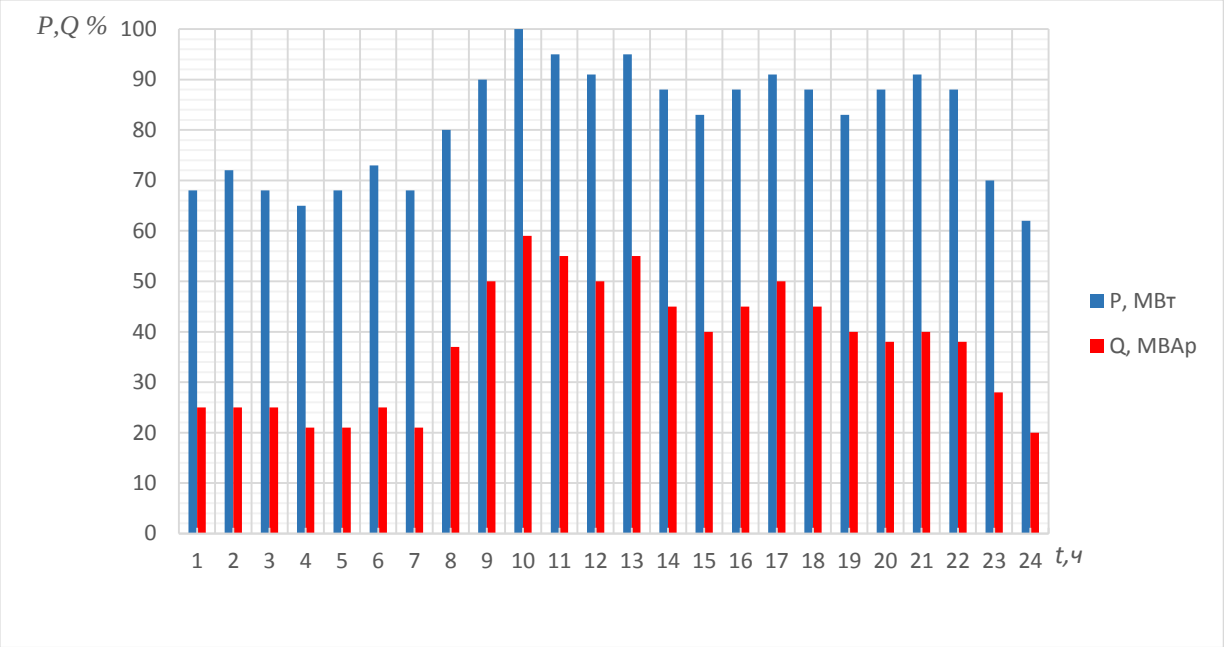
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
3000;3	22;0,37	27;0,39	13;0,47	34;0,5	18;0,4	74	40	16	80	6,3

Вариант 16

P_{max} = 24000 кВт, Q_{max} = 11000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 20; 2-ая – 30; 3-ая – 50.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,26 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 1,2 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 20.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

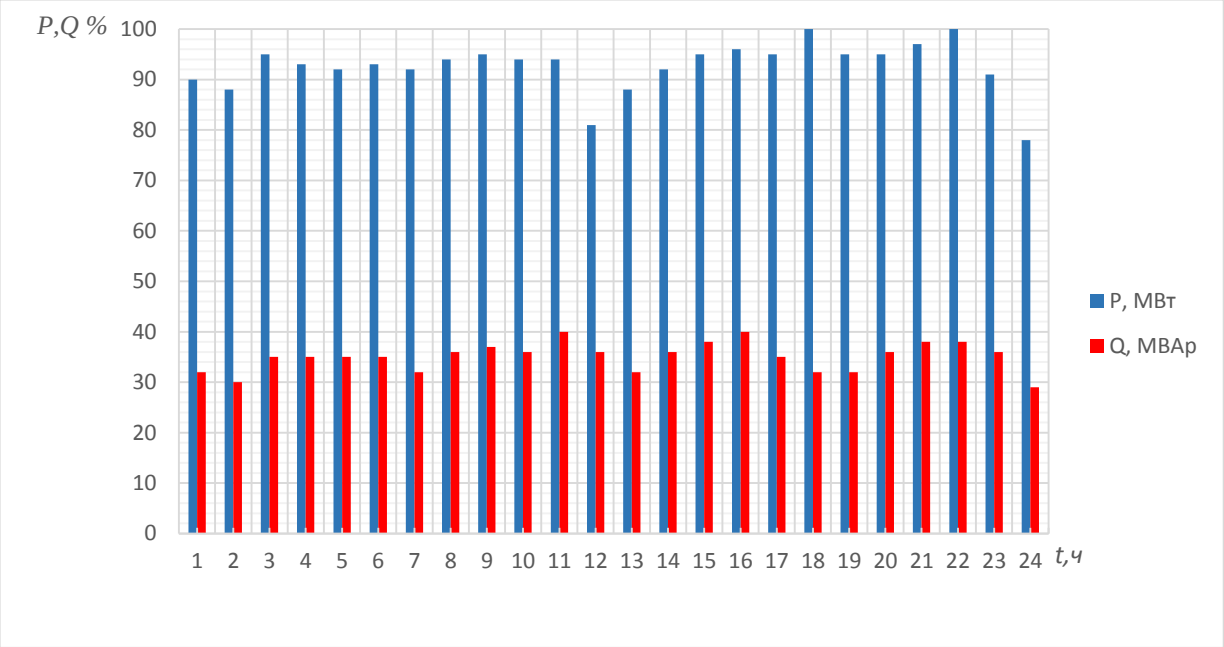
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2000;3	25;0,38	13;0,39	18;0,39	19;0,36	24;0,4	90	40	16	80	16

Вариант 17

P_{max} = 60000 кВт, Q_{max} = 56000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 17; 2-ая – 37; 3-ая – 46.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,45 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 3,5МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 24.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

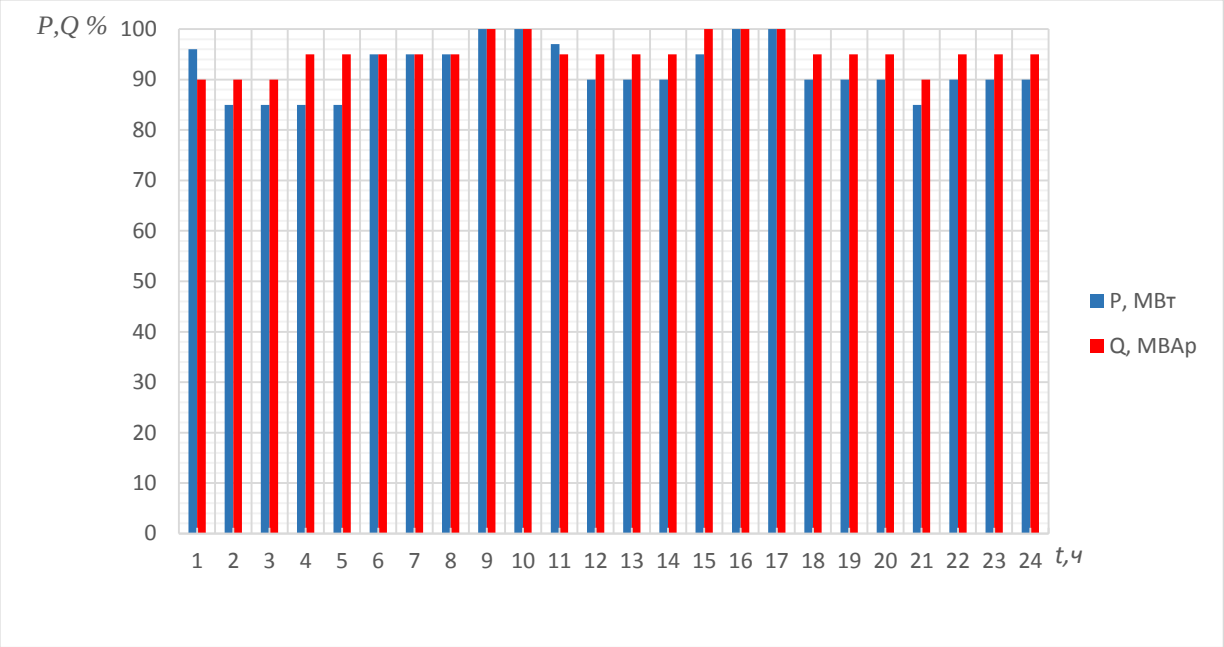
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
4000;3	27;0,39	15;0,26	17;0,45	19;0,5	-	45	27	-	45	6

Вариант 18

P_{max} = 67000 кВт, Q_{max} = 48000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 11; 2-ая – 24; 3-ая – 57.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,15 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 3,2 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 37.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

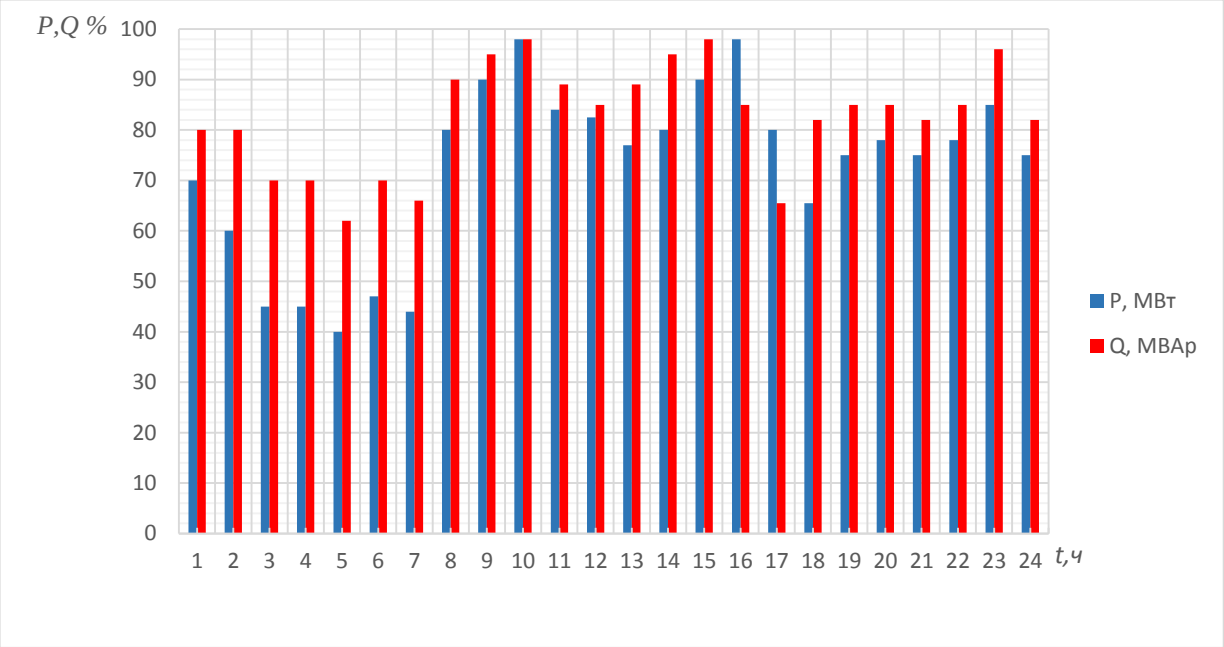
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
1400;3	33;0,37	28;0,42	14;0,47	27;0,4	20;0,41	120	30	25	90	7,5

Вариант 19

P_{max} = 80000 кВт, Q_{max} = 73000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 45; 2-ая – 37; 3-ая – 41.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,27 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 5,9 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 42.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

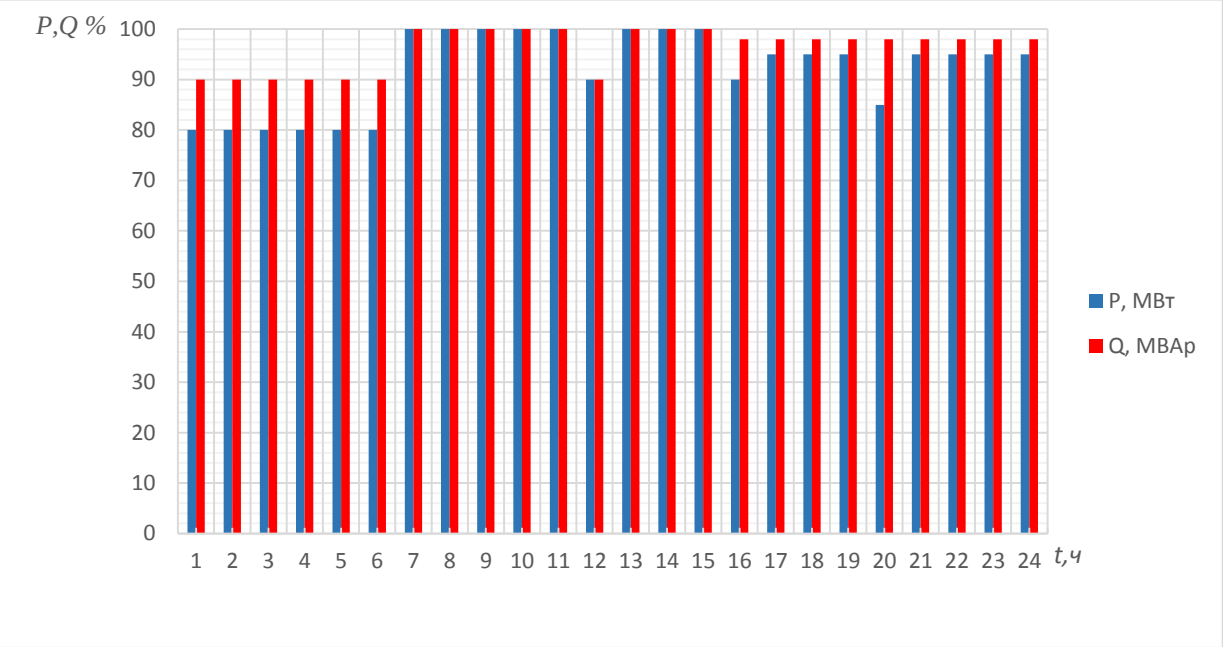
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
3000;3	29;0,38	31;0,42	19;0,41	25;0,35	27;0,4	95	45	15	125	10

Вариант 20

P_{max} = 84000 кВт, Q_{max} = 58000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 9; 2-ая – 21; 3-ая – 58.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,15 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 6,7 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 24.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

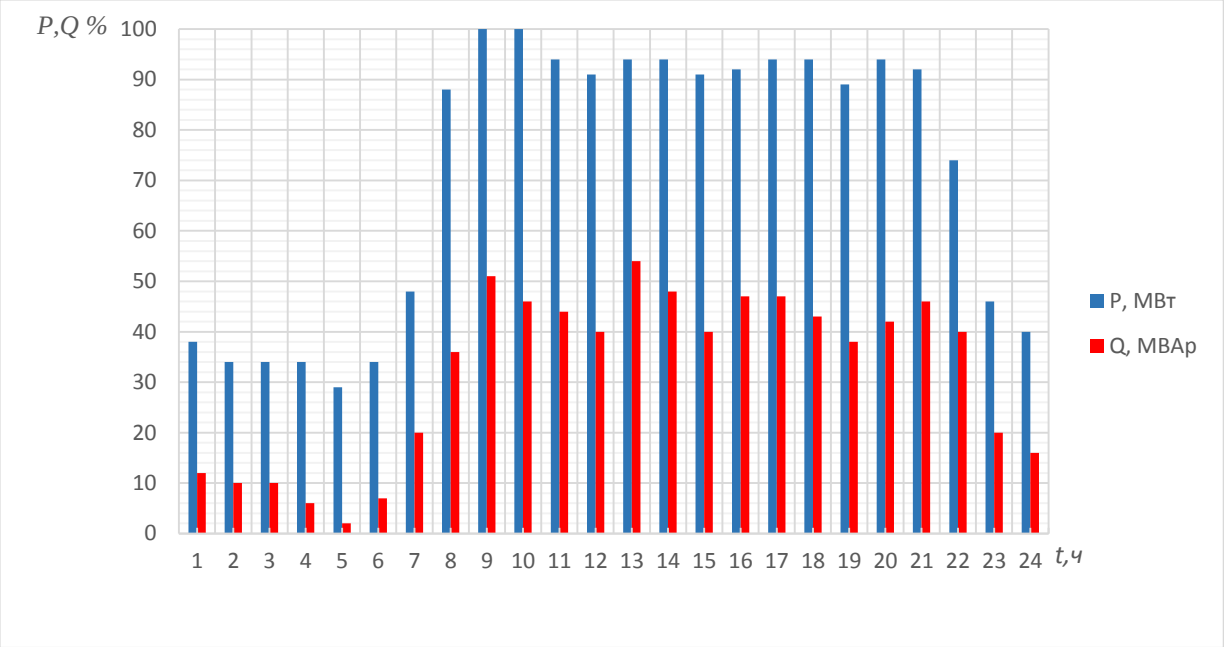
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
3000;2,9	42;0,24	25;0,5	18;0,39	27;0,45	19;0,36	120	30	15	120	16

Вариант 21

P_{max} = 36000 кВт, Q_{max} = 30000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 15; 2-ая – 25; 3-ая – 37.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,26 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2,9 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 27.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

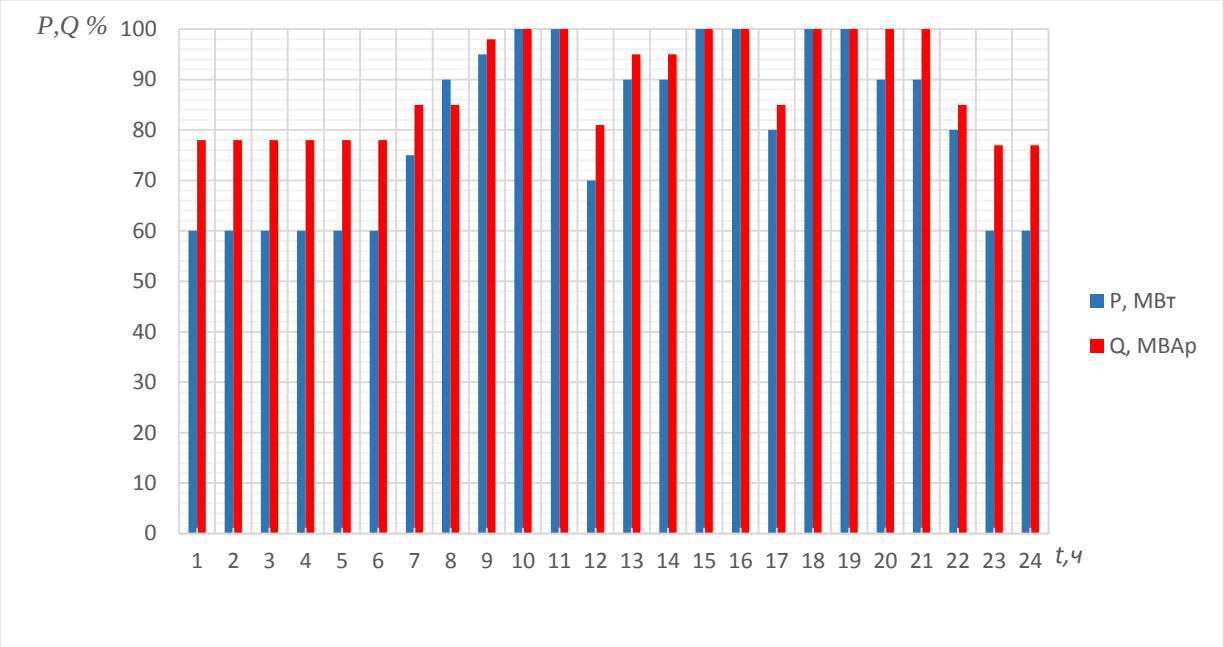
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2250;3	54;0,38	45;0,4	25;0,43	25;0,37	-	40	25	-	36	8,3

Вариант 22

P_{max} = 40000 кВт, Q_{max} = 40000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 27; 2-ая – 39; 3-ая – 50.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,55 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 6,9 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 28.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

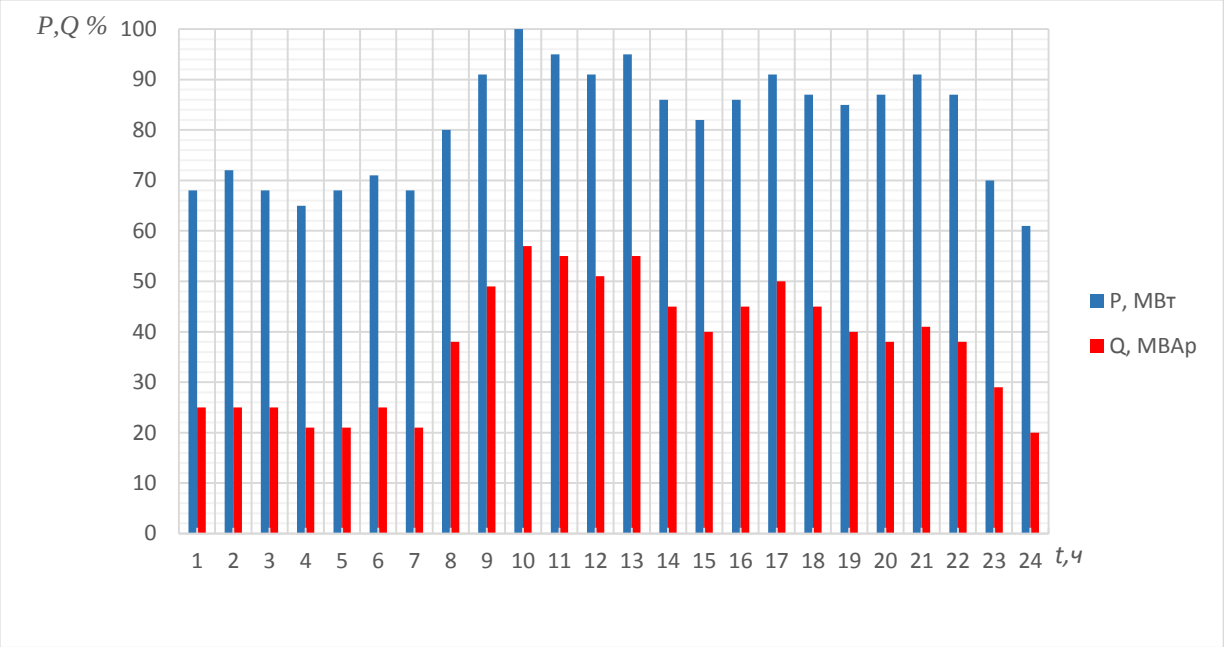
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
4000;3	25;0,38	23;0,42	17;0,44	27;0,42	-	150	25	-	90	9,2

Вариант 23

P_{max} = 77000 кВт, Q_{max} = 59000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 32; 2-ая – 27; 3-ая – 45.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,15 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 4,5 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 28.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

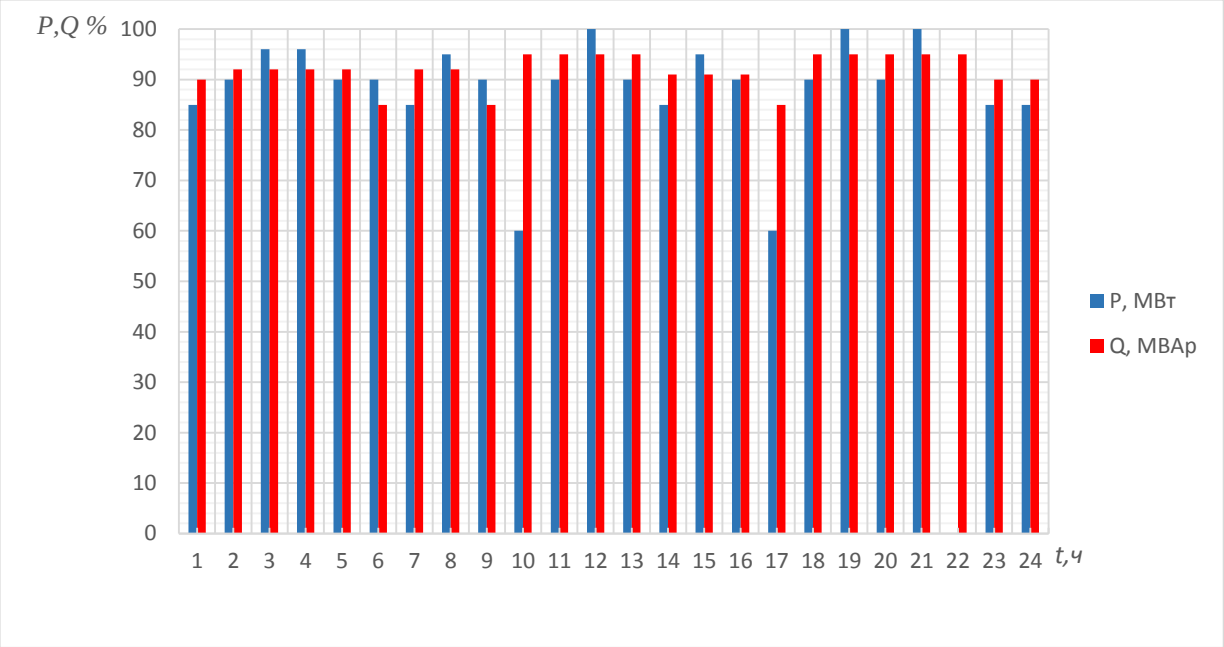
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
4525;3	28;0,38	19;0,39	12;0,4	35;0,4	36;0,41	130	45	45	95	25

Вариант 24

P_{max} = 65000 кВт, Q_{max} = 51000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 25; 2-ая – 40; 3-ая – 35.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,32 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2,75 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 27.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

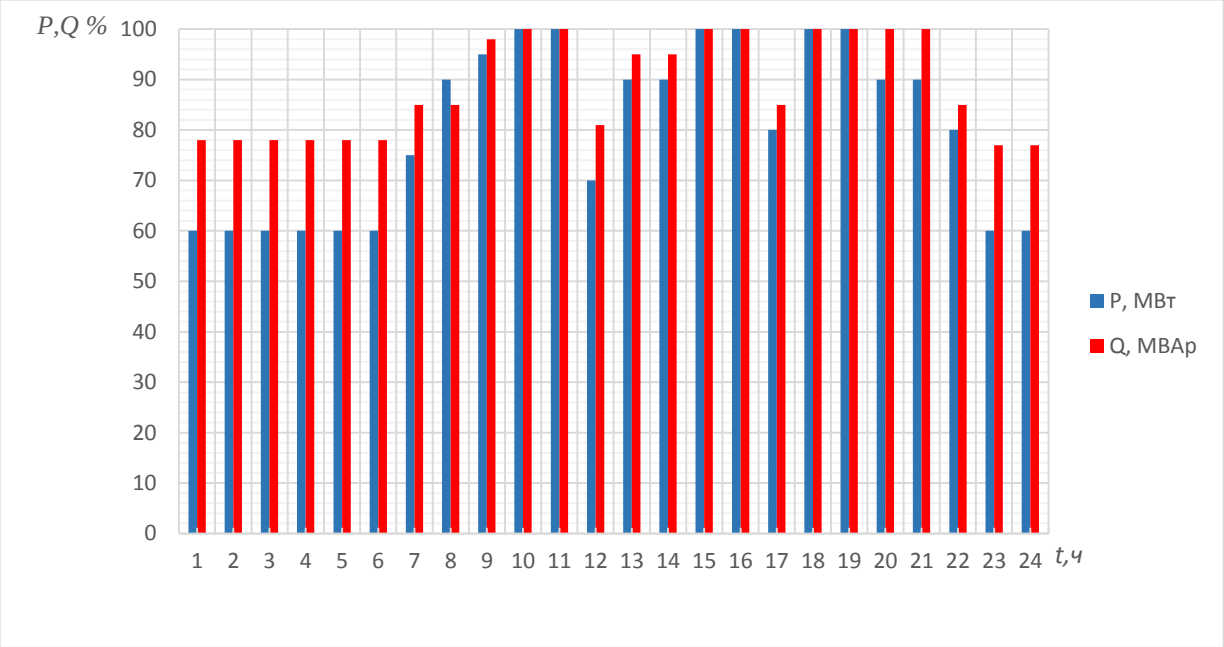
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2950;3	24;0,38	11;0,39	21;0,42	24;0,41	11;0,42	89	24	75	134	18

Вариант 25

P_{max} = 25000 кВт, Q_{max} = 25000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 22; 2-ая – 35; 3-ая – 43.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,45 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 18.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

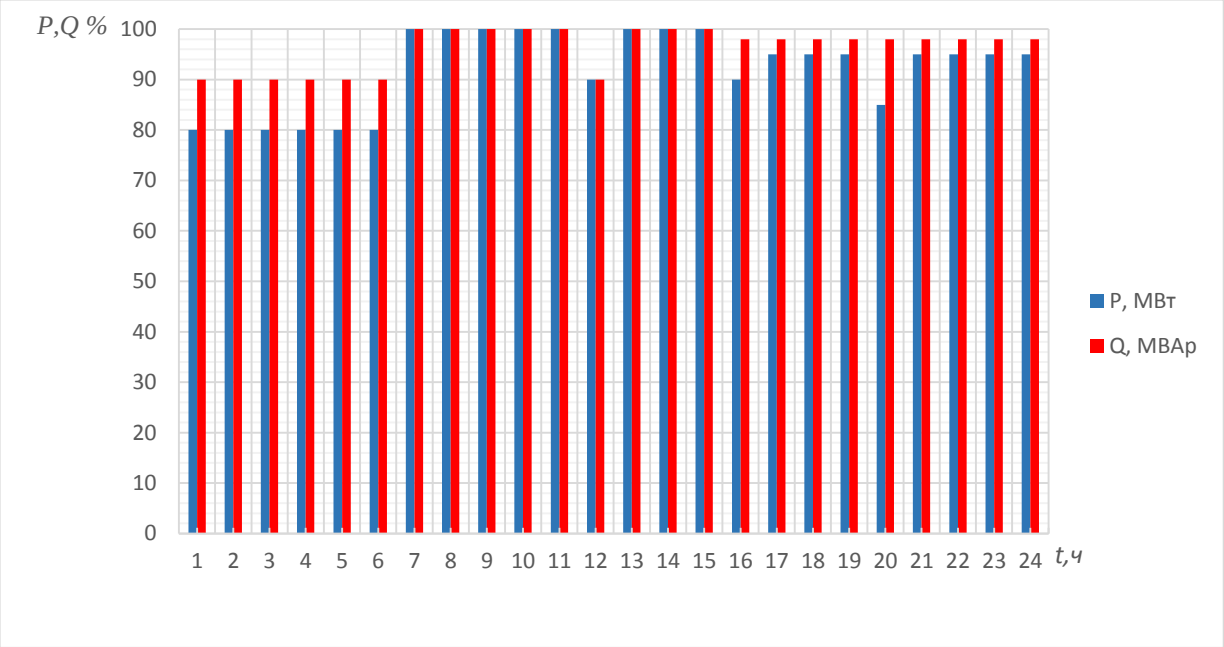
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2200;3	26;0,38	17;0,42	14;0,42	26;0,41	-	32	25	-	40	6,3

Вариант 26

P_{max} = 72000 кВт, Q_{max} = 72000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 9; 2-ая – 31; 3-ая – 60.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,55 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 5 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 30.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС3,

Параметры системы

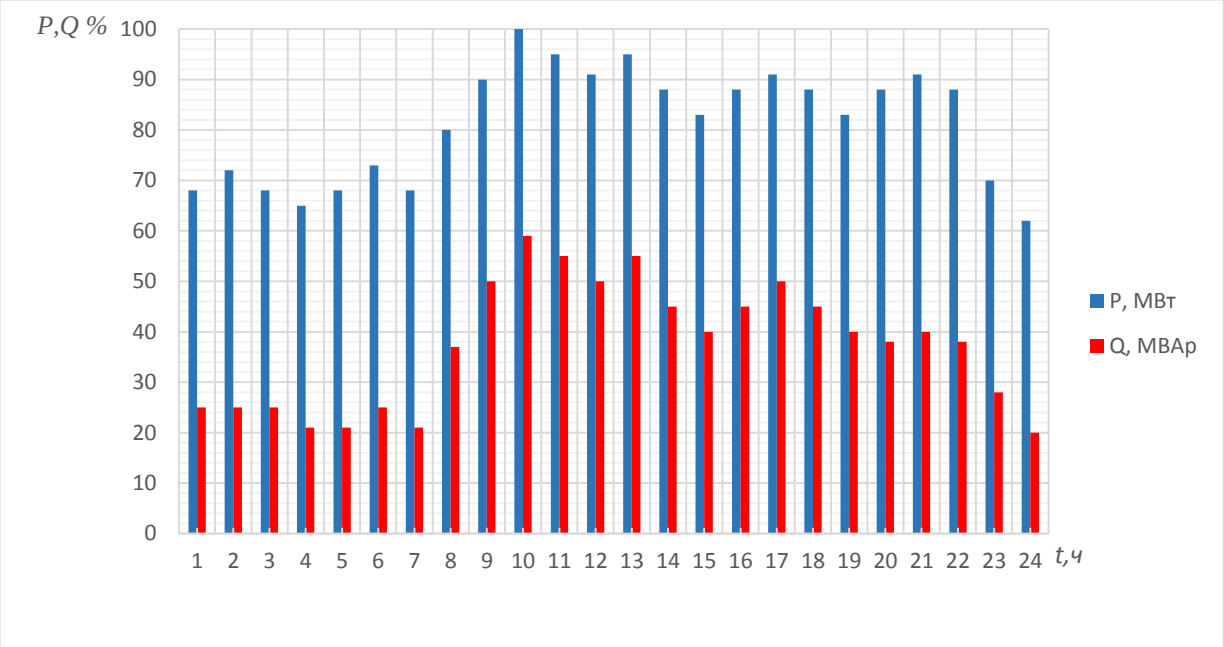
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2000;2,9	29;0,38	19;0,4	16;0,42	24;0,42	22;0,39	100	25	16	125	10

Вариант 27

P_{max} = 50000 кВт, Q_{max} = 30000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 20; 2-ая – 30; 3-ая – 50.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,4 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2,5 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 23.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

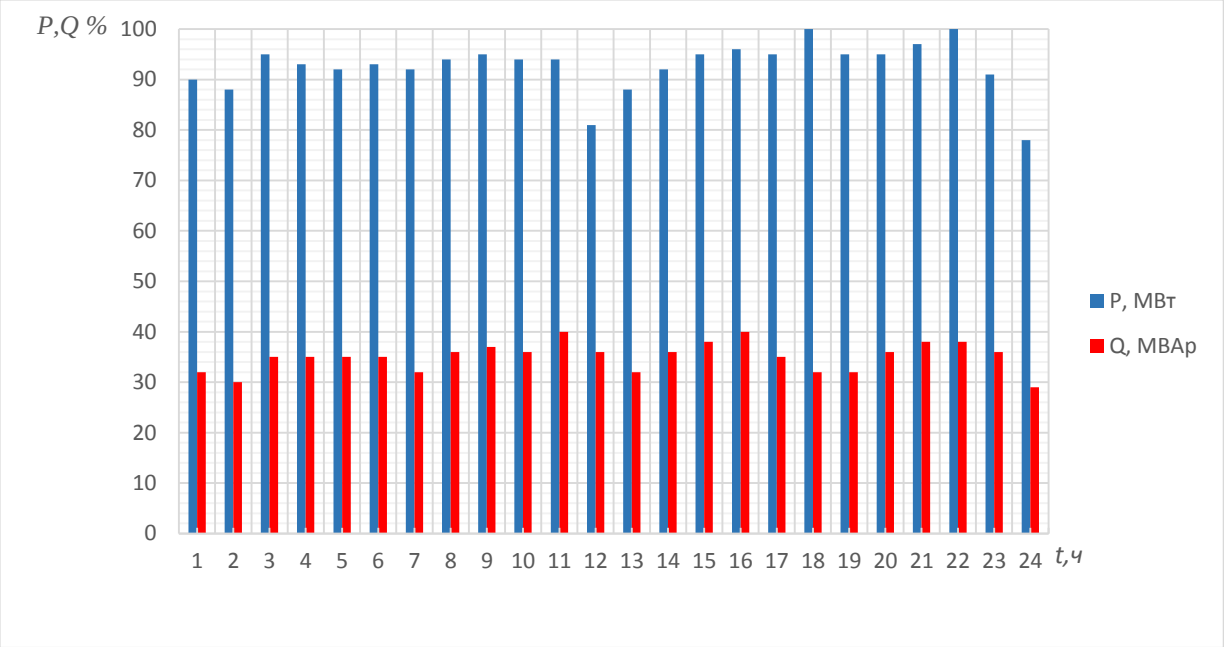
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2450;3	20;0,38	23;0,39	16;0,39	19;0,42	21;0,4	63	40	16	80	16

Вариант 28

P_{max} = 35000 кВт, Q_{max} = 15000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 15; 2-ая – 40; 3-ая – 45.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,55 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 30.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

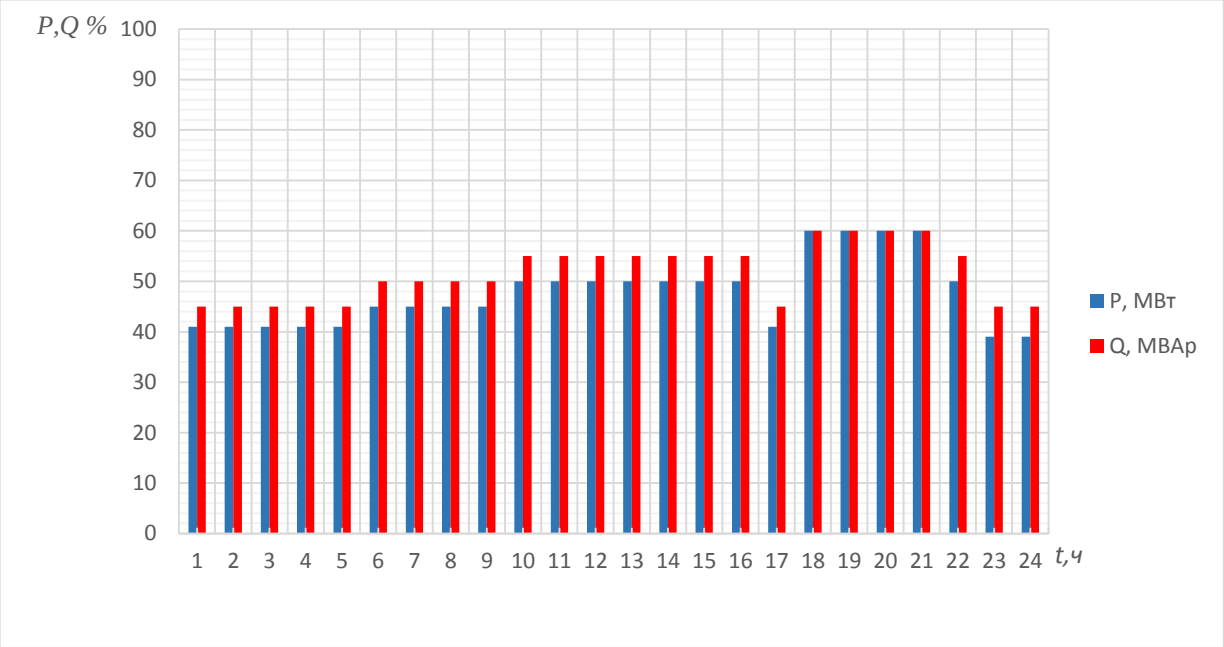
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
2500;3	25;0,41	24;0,39	20;0,41	18;0,4	-	63	25	-	80	10

Вариант 29

P_{max} = 75000 кВт, Q_{max} = 62000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 25; 2-ая – 40; 3-ая – 45.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,2 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2,2 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 15.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПС2,

Параметры системы

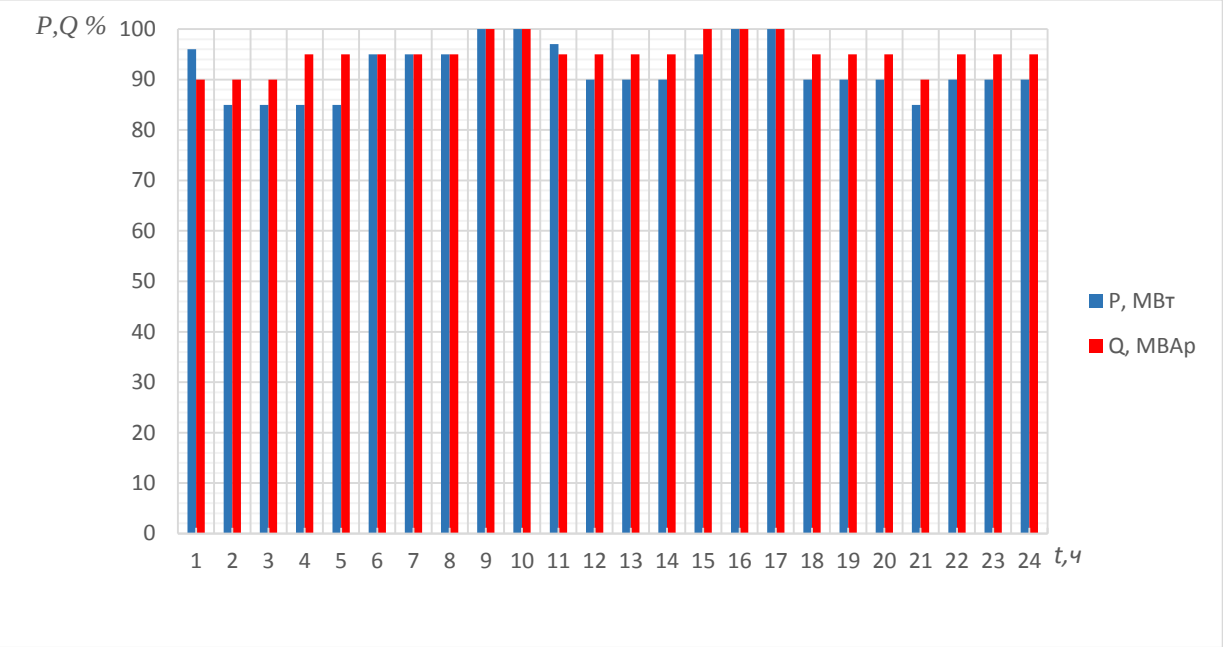
Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
1760;3	30;0,39	21;0,38	14;0,38	23;0,41	19;0,4	63	40	16	80	6,3

Вариант 30

P_{max} = 40000 кВт, Q_{max} = 40000 кВар

Категоричность потребителей (%): 1-ая – 10; 2-ая – 30; 3-ая – 60.

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – секционированная,

Время отключения присоединения $t_{\text{рз.выкл.присоед}}$ = 0,4 с,

$P_{\text{МАКС.(ТП,РП)}}$ = 2,5 МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – 44.

4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – ПСЗ,

Параметры системы

Система: $S_{кз}$, МВА;x_0/x_1	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5	Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
1800;3	32;0,42	23;0,39	12;0,42	24;0,4	20;0,41	63	25	16	80	6,3

Приложение 3

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

КАФЕДРА ФИЗИКИ, ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

по дисциплине
«Электрические станции и подстанции»
на тему:
«Проектирование распределительной понизительной подстанции
(вариант -)»

Выполнил:
_____
студент 4 курса группы
_____
направления подготовки 13.03.02
_____ формы обучения
_____
(подпись)

Руководитель работы:
_____
(ФИО, должность, кафедра)

Работа допущена к защите _____ _____
(подпись руководителя) (дата)

Работа выполнена и
защищена с оценкой _____ Дата защиты _____

Члены комиссии: доцент кафедры ФЭиЭ _____ _____
(должность) (подпись) (И.О. Фамилия)

доцент кафедры ФЭиЭ _____ _____

Пятигорск. 20__

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Содержание

Введение
1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Электрические станции и подстанции»
2 План-график выполнения самостоятельной работы
3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
5 Методические указания по выполнению курсового проекта
6 Методические указания по подготовке к экзамену.
7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Электрические станции и подстанции»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;
- выполнение курсового проекта.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Цель самостоятельного решения задач - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

Задачами самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-1$_{ПК-1}$ Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем	Знает схемо-техническое исполнение электрооборудования станций и подстанций; современные аналитические методы и модели комплексного инженерного анализа. Умеет обосновывать технические решения при разработке схем распределения и передачи электрической энергии; применять современные методы и средства исследования для решения конкретных задач.
	ИД-2$_{ПК-1}$ Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения	Владеет навыками правильно выбирать электрические схемы станций и подстанций с учетом особенностей их работы и требований потребителей.
ПК-2 Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения	ИД-1$_{ПК-2}$ Рассчитывает параметры электрооборудования систем	Знает общие закономерности производства, передачи и распределения электрической энергии; основные конструктивные и режимные особенности электрических станций (тепловых, атомных, гидравлических) и подстанций, распределительных сетей. Умеет рассчитывать основные параметры схем электрических станций и подстанций, учитывать особенности режимов работы различных станций и подстанций.
	ИД-2$_{ПК-2}$ Рассчитывает режимы работы систем электроснабжения	Владеет навыками расчёта параметров оборудования станций и подстанций; ме-

		тодами расчета токов короткого замыкания симметричного и несимметричного режимов.
	ИД-5$_{ПК-2}$ Применяет инженерно-технические расчеты для решения задач профессиональной деятельности	Умеет проводить инженерно-технические расчеты с помощью прикладного программного обеспечения. Владеет навыками использования прикладных программ для выполнения инженерно-технических расчетов в профессиональной сфере.

План-график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
Очная форма обучения					
7 семестр					
ПК-1 ИД-1$_{ПК-1}$ ИД-2$_{ПК-1}$ ПК-2 ИД-1$_{ПК-2}$ ИД-2$_{ПК-2}$ ИД-5$_{ПК-2}$	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	30,42	3,38	33,8
	Подготовка к лекциям	Собеседование	3,24	0,36	3,6
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровнвых задач	6,48	0,72	7,2
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	4,86	0,54	5,4
	Выполнение курсового проекта	Презентация проекта	36	4	40
Итого за 7 семестр:			**81**	**9**	**90**
Итого:			**81**	**9**	**90**
Заочная форма обучения					
7 семестр					
ПК-1 ИД-1$_{ПК-1}$ ИД-2$_{ПК-1}$ ПК-2 ИД-1$_{ПК-2}$ ИД-2$_{ПК-2}$ ИД-5$_{ПК-2}$	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-18	Собеседование	133,2	14,8	148
	Подготовка к лекциям	Собеседование	0,54	0,06	0,6
	Подготовка к практическим занятиям	Письменный отчет о решении типовых, разноуровнвых задач	1,08	0,12	1,2
	Подготовка к лабораторным занятиям	Собеседование	1,08	0,12	1,2
	Выполнение курсового проекта	Презентация проекта	36	4	40
Итого за 7 семестр:			**171,9**	**19,1**	**191**
Итого:			**171,9**	**19,1**	**191**

Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
7 семестр			
1.	Практическое занятие № 4	6 неделя	25
2.	Лабораторное занятие № 6	10 неделя	15
3.	Практическое занятие № 9	16 неделя	15
	Итого за 7 семестр		**55**
	Итого		**55**

Максимально возможный балл за весь текущий контроль Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	**100**
Хороший	**80**
Удовлетворительный	**60**
Неудовлетворительный	**0**

Рейтинговая система успеваемости студентов не предусмотрена для заочной формы обучения.

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути поня-тийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

Типовые контрольные задания и иные материалы, характеризующие этапы формирования компетенций

Вопросы для собеседования

1. Электрические станции и подстанции основные понятия и определения
2. Графики нагрузки электроустановок
3. Параметры графиков нагрузки
4. Участие тепловых электростанций в производстве электроэнергии
5. Участие паротурбинных конденсационных электростанций в производстве электроэнергии
6. Участие паротурбинных теплофикационных электростанции в производстве электроэнергии
7. Участие газотурбинных электростанций в производстве электроэнергии
8. Участие атомных электростанций в производстве электроэнергии
9. Участие гидроэлектростанций в производстве электроэнергии
10. Участие электростанций разных типов в производстве электроэнергии
11. Турбогенераторы
12. Гидрогенераторы
13. Выбор шинных конструкций

14. Выбор токопроводов и проводов воздушных линий
15. Выбор кабелей
16. Блочные схемы
17. Мостиковые схемы
18. Схемы и группы соединения обмоток трансформаторов
19. Плавкие предохранители
20. Измерительные трансформаторы напряжения
21. Измерительные трансформаторы тока
22. Масляные выключатели
23. Воздушные выключатели
24. Элегазовые выключатели
25. Режимы работы электроустановок
26. Высоковольтные выключатели
27. Электромагнитные выключатели
28. Выключатель нагрузки
29. Разъединители
30. Отделители и короткозамыкатели
31. Силовые трансформаторы
32. Силовые автотрансформаторы
33. Номинальные параметры трансформаторов
34. Автоматическое регулирование возбуждения генераторов
35. Релейная форсировка возбуждения генераторов
36. Компандирование возбуждения генераторов
37. Регулирование напряжения трансформаторов
38. Динамическое действие токов к.з.
39. Термическое действие токов к.з.
40. Элементы конструкции трансформаторов
41. Системы охлаждения силовых трансформаторов
42. Нагрузочная способность трансформаторов
43. Косвенные системы охлаждения генераторов
44. Непосредственное (форсированное) охлаждение генераторов
45. Системы возбуждения генераторов
46. Реакторы
47. Шинные конструкции
48. Вакуумные выкючатели

49. Тепловой расчет трансформаторов

50. Особенности автотрансформаторов

51. Ограничение токов короткого замыкания

52. Бесщеточное независимое возбуждение генераторов

53. Самовозбуждение генераторов с полупроводниковыми преобразователями

54. Автоматическое гашение поля генераторов

55. Электромашинные системы возбуждения

56. Независимое высокочастотное возбуждение генераторов с полупроводниковыми выпрямителями

57. Независимое тиристорное возбуждение генераторов

58. Как осуществляется проверка шин по условия нагрузочной способности?

59. Как влияет на допустимый продолжительный ток шин удельное электрическое сопротивление материала?

60. Изложите понятие о выборе проводников по экономической плотности тока.

61. Объясните влияние солнечной радиации на продолжительный ток шин.

62. Перечислите от чего зависит конвективная теплоотдача шины открытого РУ (ОРУ).

63. Объясните выбор трансформаторов на подстанциях.

64. Что такое систематические перегрузки?

65. Объясните понятие шестиградусное правило

66. Изложите порядок определения допустимой перегрузки трансформатора по кривым нагрузочной способности в случае двухступенчатого рабочего графика

67. От чего зависит процесс старения изоляции?

68. От чего зависит методика расчета интеграла Джоуля?

69. В чем заключается проверка проводников на термическую стойкость при КЗ?

70. Какие принимаются допущения для расчета нагрузок на шины?

71. Как влияет взаимное расположение фаз на электродинамические нагрузки?

72. При каком расположении шин электродинамические нагрузки будут минимальны?

73. Как влияют расстояния между фазами на электродинамические нагрузки?

74. Что называется, электродинамической стойкостью шинных конструкций?

75. Какая шинная конструкция называется электродинамически стойкой?

76. Перечислите основные типы шинных конструкций и соответствующие им расчетные схемы?

77. Каков порядок расчета электродинамической стойкости изоляторов и шин, расположенных в одной плоскости?

78. Каков порядок расчета составных шин?

79. Каков порядок расчета шин, фазы которых расположены по вершинам треугольника?

80. Что значит собственное время отключения выключателя. Как определяется?

81. От чего и каким образом зависят условия проверки выключателя на термическую стойкость?

82. Каковы условия проверки выключателя на симметричный ток?

83. По каким соотношениям определяется возможность отключения апериодической составляющей тока КЗ?

84. Каково назначение выключателя?

85. По каким условиям выбирают выключатель?

86. Две рабочие системы шин с обходной

87. Мостиковые схемы

88. Схемы 3/2 и 4/3

89. Измерительные трансформаторы тока

90. Блочные схемы

91. Схема квадрата

92. Одна рабочая система шин с обходной

Методические указания по выполнению курсового проекта

Курсовой проект — это самостоятельное исследование студентом определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов, касающихся конкретной темы.

Выполнение курсового проекта начинается с получения варианта задания и темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов проекта;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана;
- составление графика выполнения курсового проекта.

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания курсового проекта.

Систематизация и анализ изученной литературы позволяют студенту написать первую (теоретическую) часть.

Рабочий вариант текста курсового проекта и графический материал предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление.

После доработки курсовой проект сдается на кафедру для ее оценивания руководителем.

Защита курсового проекта студентов проходит в сроки, установленные графиком учебного процесса.

Основные этапы работы и требования к оформлению и защите отражены в методических указаниях по выполнению курсового проекта.

Методические указания по подготовке к экзамену

Изучение дисциплины «Электрические станции и подстанции» завершается экзаменом. Подготовка к экзамену способствует закреплению, углублению и обобщению знаний, получаемых, в процессе обучения, а также применению их к решению практических задач. Готовясь к экзамену, студент ликвидирует имеющиеся пробелы в знаниях, углубляет, систематизирует и упорядочивает свои знания. На экзамене студент демонстрирует то, что он приобрел в процессе обучения по конкретной учебной дисциплине.

На консультации перед экзаменом студентов познакомят с основными требованиями, ответят на возникшие у них вопросы. Поэтому посещение консультаций обязательно.

При подготовке к экзамену необходимо использовать конспекты лекций по дисциплине, учебники и учебные пособия (из списка основной и дополнительной литературы) или конспект литературы, прочитанной по указанию преподавателя в течение семестра.

Вначале следует просмотреть весь материал по сдаваемой дисциплине, отметить для себя трудные вопросы. Обязательно в них разобраться. В заключение еще раз целесообразно повторить основные положения.

Систематическая подготовка к занятиям в течение семестра позволит использовать время экзаменационной сессии для систематизации знаний.

Вопросы к экзамену

1. Электрические станции и подстанции: основные понятия и определения.

2. Графики нагрузки электроустановок. Параметры графиков нагрузки

3. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы. Номинальные параметры, схемы и группы соединений. Системы охлаждения силовых трансформаторов. Регулирование напряжения трансформаторов. Потери и КПД трансформаторов.

4. Динамическое и термическое действие токов к.з. Ударные и установившиеся токи к.з. Схемы замещения.

5. Ограничение токов короткого замыкания. Защитные и токоограничивающие аппараты.

6. Режимы работы электроустановок. Режимы нейтрали электроустановок.

7. Заземляющие устройства. Виды заземлений электроустановок. Варианты применения и исполнения.

8. Изоляторы, кабели, токопроводы. Конструкции опорных, проходных и подвесных изоляторов. Выбор кабелей.

9. Гашение дуги. Основные способы гашения дуги в аппаратах до 1 кВ.

10. Гашение дуги. Основные способы гашения дуги в аппаратах свыше 1 кВ.

11. Вакуумные выключатели. Общие сведения. Конструкция. Физические основы существования дуги в вакууме. Устройство ВДК.

12. Масляные выключатели. Общие сведения. Конструкция. Принцип действия дугогасительных устройств.

13. Воздушные выключатели. Общие сведения. Конструкция. Достоинства, недостатки. Принцип действия дугогасительных устройств (ДУ) воздушных выключателей.

14. Элегазовые выключатели. Общие сведения. Конструкция. Физико-химические свойства элегаза. Дугогасительные устройства.

15. Разъединители. Общие сведения. Классификация, требования. Типы установки.

16. Измерительные трансформаторы напряжения.

17. Измерительные трансформаторы тока.

18. Структурные схемы электрических станций и подстанций. Структурные схемы подстанций.

19. Электроснабжение собственных нужд электростанций и подстанций.

20. Организация цепей оперативного тока электростанций и подстанций. Виды оперативного тока. Применение аккумуляторных батарей и выпрямительных устройств.

21. Схемы электрических соединений. Блочные и мостиковые схемы.

22. Схемы электрических соединений. Схемы рабочих систем шин, четырехугольника, схемы 3/2 и 4/3.

23. Проектирование и конструирование электроустановок. Требования к схемам ПС и чертежам.

24. Организация плавки гололеда на воздушных линиях. Схемы ПГ. Плавка гололеда постоянным и переменным током.

25. Цифровая подстанция и МЭК 61850.

26. Электрические станции и подстанции основные понятия и определения

27. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы. Номинальные параметры, схемы и группы соединений. Системы охлаждения силовых трансформаторов. Регулирование напряжения трансформаторов. Потери и КПД трансформаторов.

28. Режимы работы электроустановок. Режимы нейтрали электроустановок.

29. Изоляторы, кабели, токопроводы. Конструкции опорных, проходных и подвесных изоляторов. Выбор кабелей.

30. Гашение дуги. Основные способы гашения дуги в аппаратах свыше 1 кВ.

31. Вакуумные выключатели. Общие сведения. Конструкция. Физические основы существования дуги в вакууме. Устройство ВДК.

32. Воздушные выключатели. Общие сведения. Конструкция. Достоинства, недостатки. Принцип действия дугогаситсльпых устройств (ДУ) воздушных выключателей.

33. Разъединители. Общие сведения. Классификация, требования. Типы установки.

34. Измерительные трансформаторы тока.

35. Электроснабжение собственных нужд электростанций и подстанций.

36. Схемы электрических соединений. Блочные и мостиковые схемы.

37. Проектирование и конструирование электроустановок. Требования к схемам ПС и чертежам.

38. Участие паротурбинных теплофикационных электростанции в производстве электроэнергии.

39. Релейная форсировка возбуждения генераторов.

40. Автоматическое гашение поля генераторов.

41. Графики нагрузки электроустановок. Параметры графиков нагрузки.

42. Динамическое и термическое действие токов к.з. Ударные и установившеся токи к.з. Схемы замещения.

43. Ограничение токов короткого замыкания. Защитные и токоограничивающие аппараты.

44. Заземляющие устройства. Виды заземлений электроустановок. Варианты применения и исполнения.

45. Гашение дуги. Основные способы гашения дуги в аппаратах до 1 кВ.

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Перечень основной литературы:

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Рос-сийской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316

2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции : учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Феде-рации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 61-63 - ISBN 978-5-7410-1542-1 ; То же [Электронный ре-сурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847

Перечень дополнительной литературы:

1. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - 2-е изд. доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. - 149 с. : ил. - Библиогр.: с. 114 - ISBN 978-5-9729-0207-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493858

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

3. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

4. Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

1. http://www.biblioclub.ru -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. http://www.iprbookshop.ru/ - Электронно- библиотечная система IPRbooks