

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета
Дата подписания: 23.08.2023 17:39:58
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 лабораторных работ
по дисциплине
«Электрические станции и подстанции»
направления подготовки
13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск
2022

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

№ 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. 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. Ручное/автоматическое управление режимом автономно работающего синхронного генератора.	
4.3	Лабораторная работа №3. Натурное моделирование установившегося режима работы трансформатора.	
4.4	Лабораторная работа №4. Пуск и регулирование реактивной мощности синхронного компенсатора.	
4.5	Лабораторная работа №5. Прямой/реакторный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.	
4.6	Лабораторная работа №6. Самозапуск асинхронного электродвигателя.	
4.7	Лабораторная работа №7. Исследование влияния на статическую устойчивость натурального синхронного генератора вида короткого замыкания в электроэнергетической системе.	
7.8	Лабораторная работа №8. 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. 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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы

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

Приложения

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
7 семестр			
1	Лабораторная работа № 1. 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, работающего параллельно с электрической системой бесконечной мощности.	1,5	
2	Лабораторная работа № 2. Ручное/автоматическое управление режимом автономно работающего синхронного генератора. Ознакомиться с управлением режимами автономного синхронного генератора.	1,5	1,5
	Лабораторная работа № 3. Ручное моделирование установившегося режима работы трансформатора.	1,5	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

	Приобрести навыки измерения параметров установившегося режима работы трансформатора и электрической сети.		
4	Лабораторная работа №4. 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. Прямой/реакторный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Исследовать прямой и реакторный пуск асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.	1,5	
6	Лабораторная работа №6. Самозапуск асинхронного электродвигателя. Анализ процесса самозапуска асинхронного электродвигателя.	1,5	
7	Лабораторная работа №7. Исследование влияния на статическую устойчивость натурального синхронного генератора вида короткого замыкания в электроэнергетической системе. Исследовать влияние на статическую устойчивость натурального 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. 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 определения соотношения токов КЗ различных видов.	1,5	
9	Лабораторная работа №9. 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

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Содержание лабораторных работ

Лабораторная работа №1. 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 уравниателем амплитуд напряжения, уравниателем 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

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

мента 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.

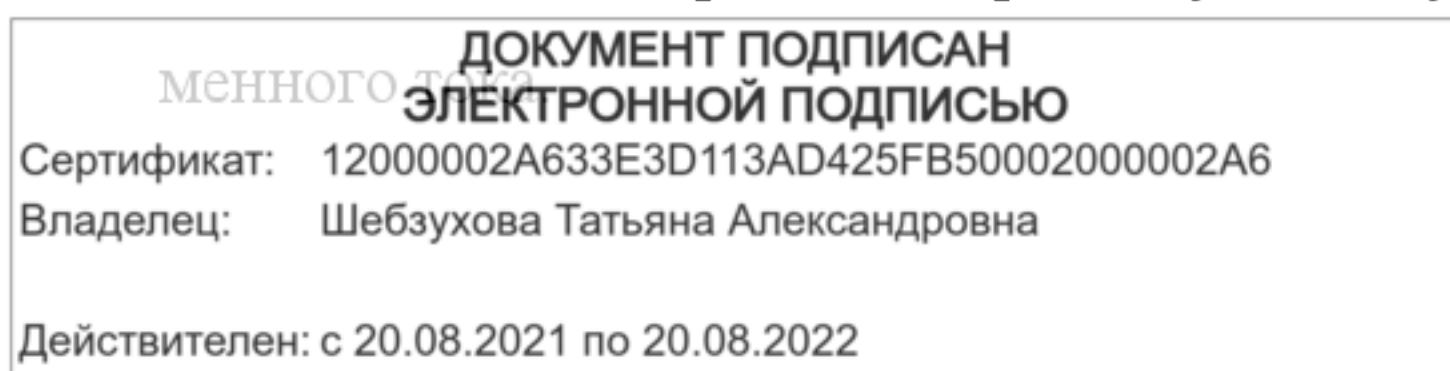
В данном эксперименте реальный генератор автоматически разгоняется до подсинхронной частоты, возбуждается и включается на параллельную работу с помощью виртуального устройства автоматической точной синхронизации, смоделированного на компьютере специальной программой. В программе можно задать скольжение, 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.

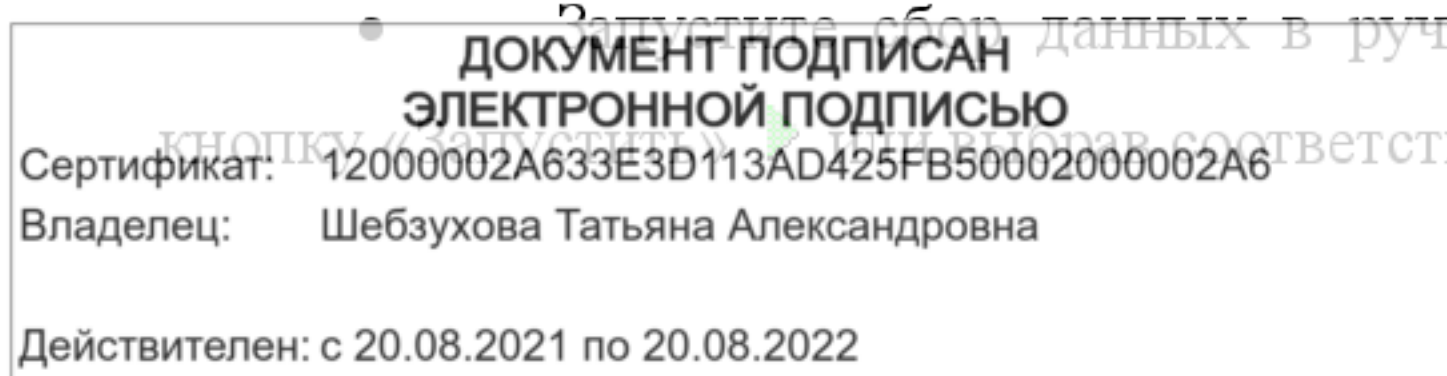
Указания по выполнению лабораторной работы:

- 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 пере-



- Соедините гнезда защитного заземления "■" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» 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: $R = 50 \text{ Ом}$, $L/R_L = 0,9 \text{ Гн} / 24 \text{ Ом}$, $C1=C2=0 \text{ мкФ}$.
- 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» и 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.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

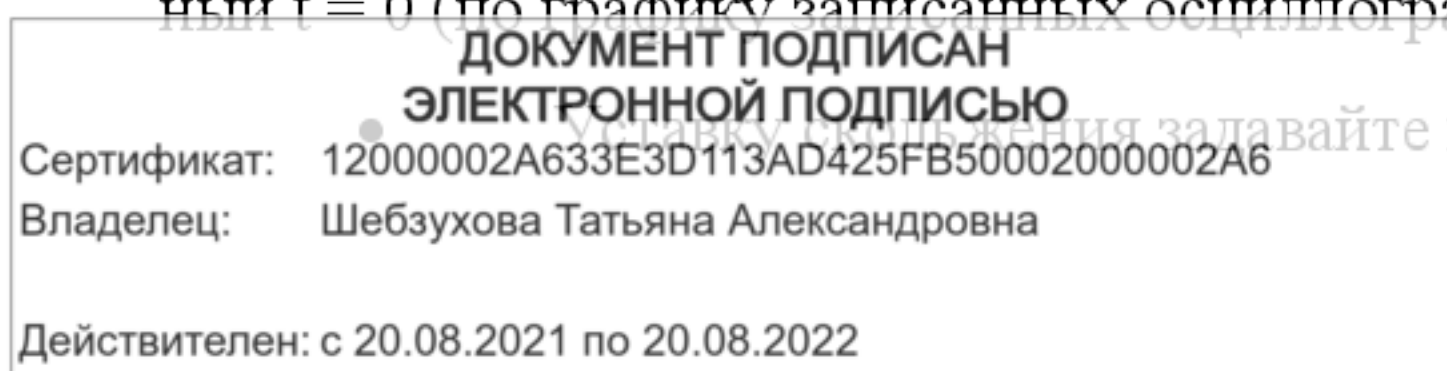
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

- 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, задавая требуемыми значениями упомянутых параметров.
- По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков A1, A5, A7, A10, G2, G3. Закройте программу «Точная синхронизация».

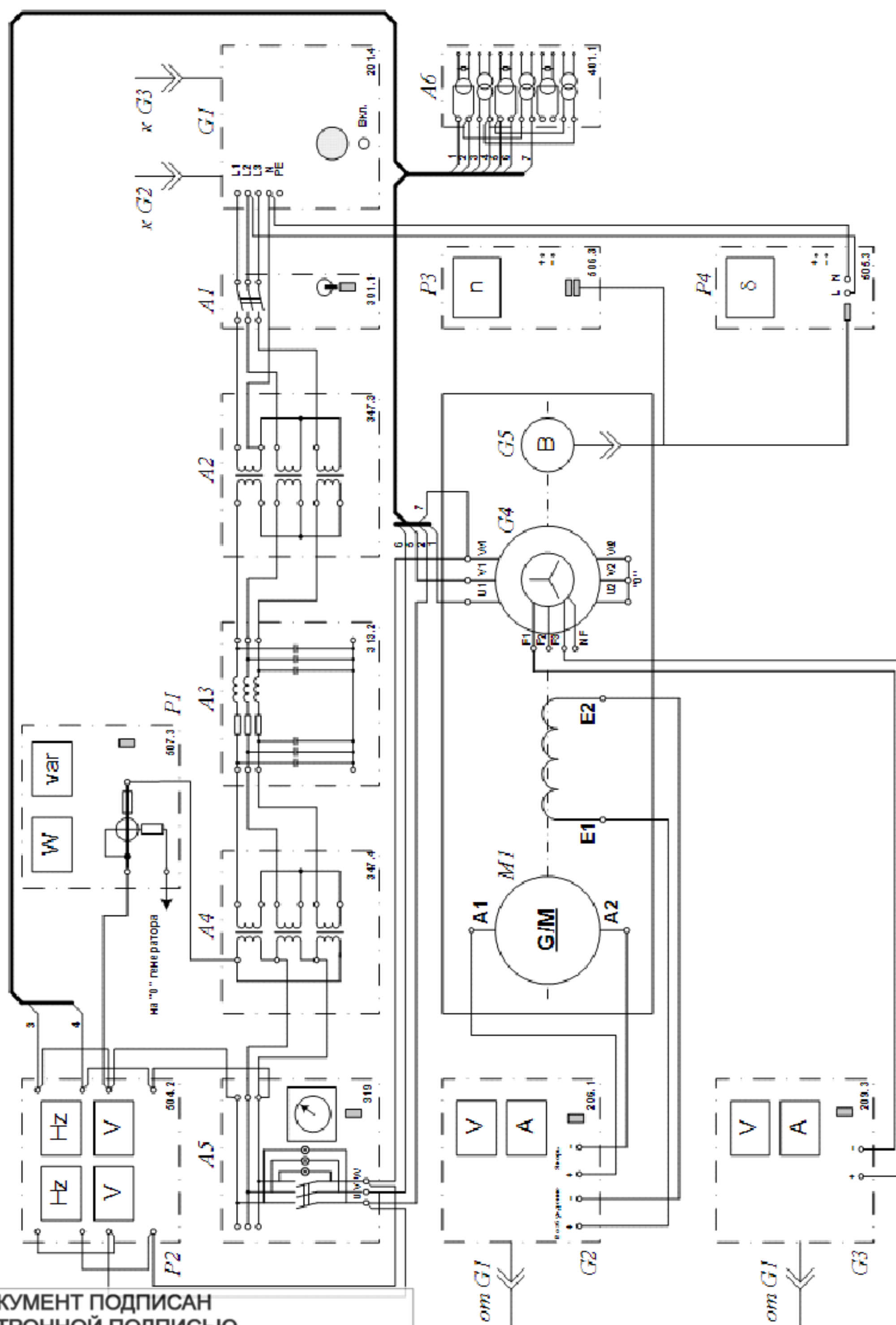
Ниже перечислены некоторые замечания.

- 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 синхроскоп.
- 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).



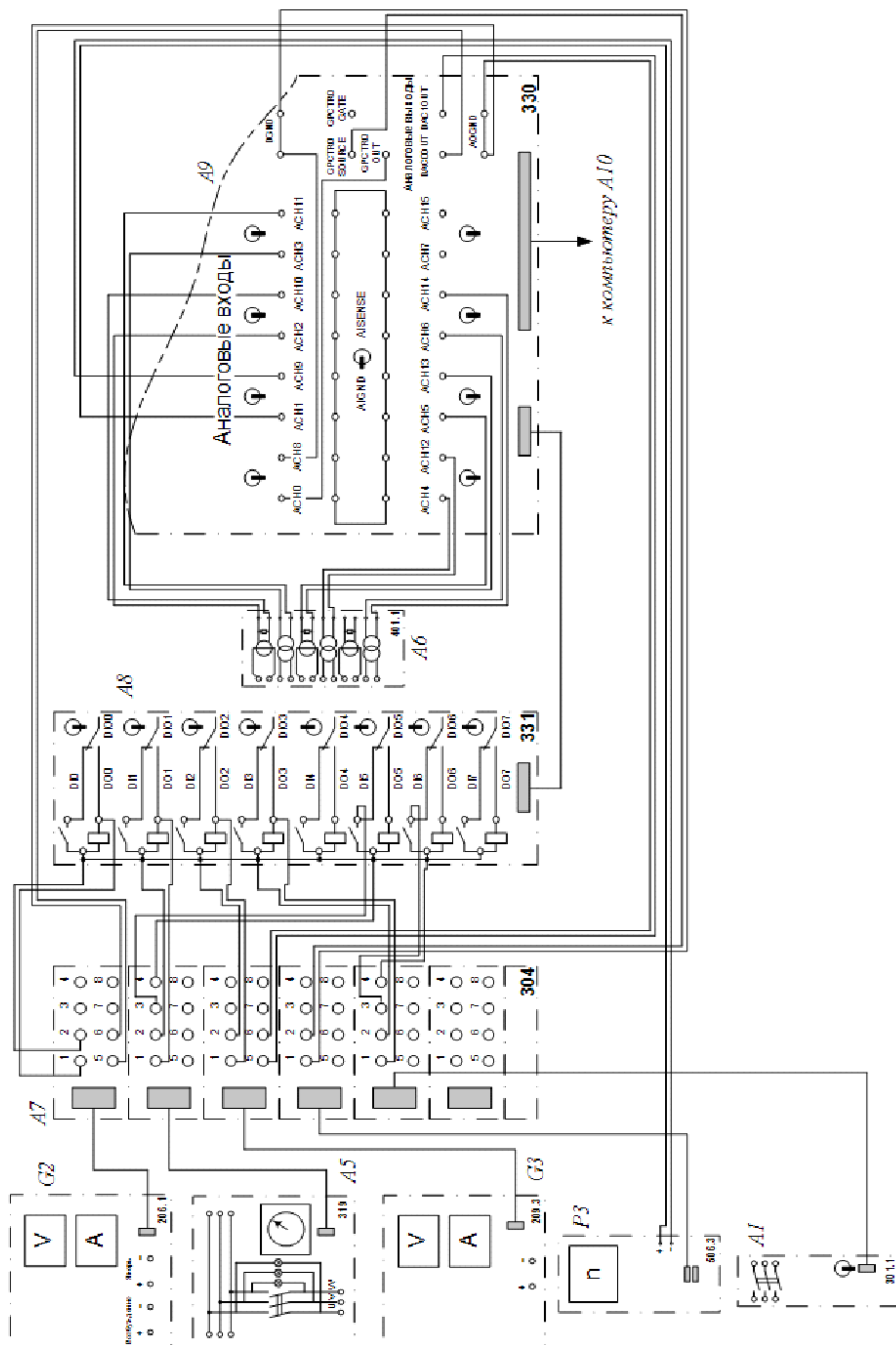
... значения задавайте в диапазоне 0,1...1,0 %.

- 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.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 1.1. Принципиальная схема управления включением синхронного генератора на параллельную работу



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

ЦИФРОВАЯ принципиальная схема модуля ввода-вывода к коннектору

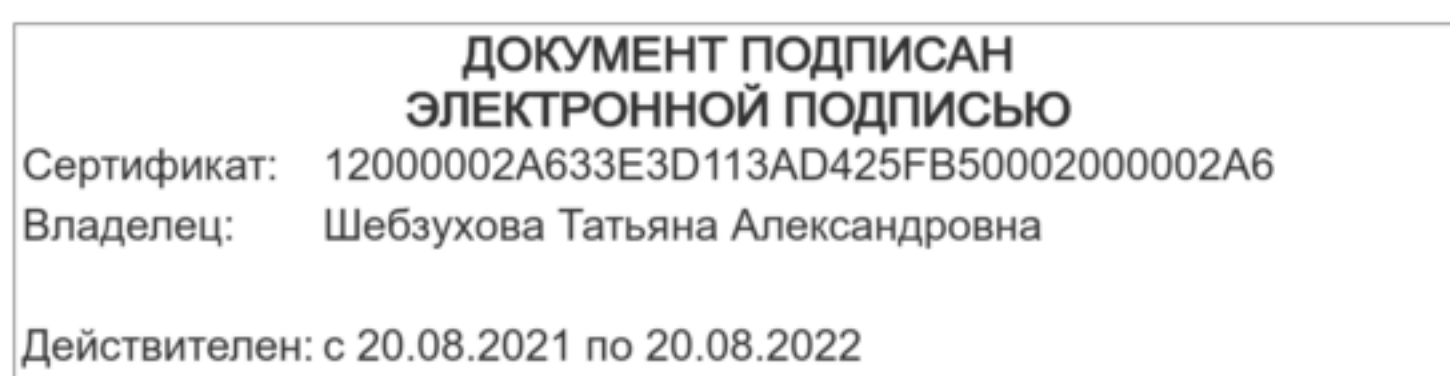
Содержание отчета:

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. 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.

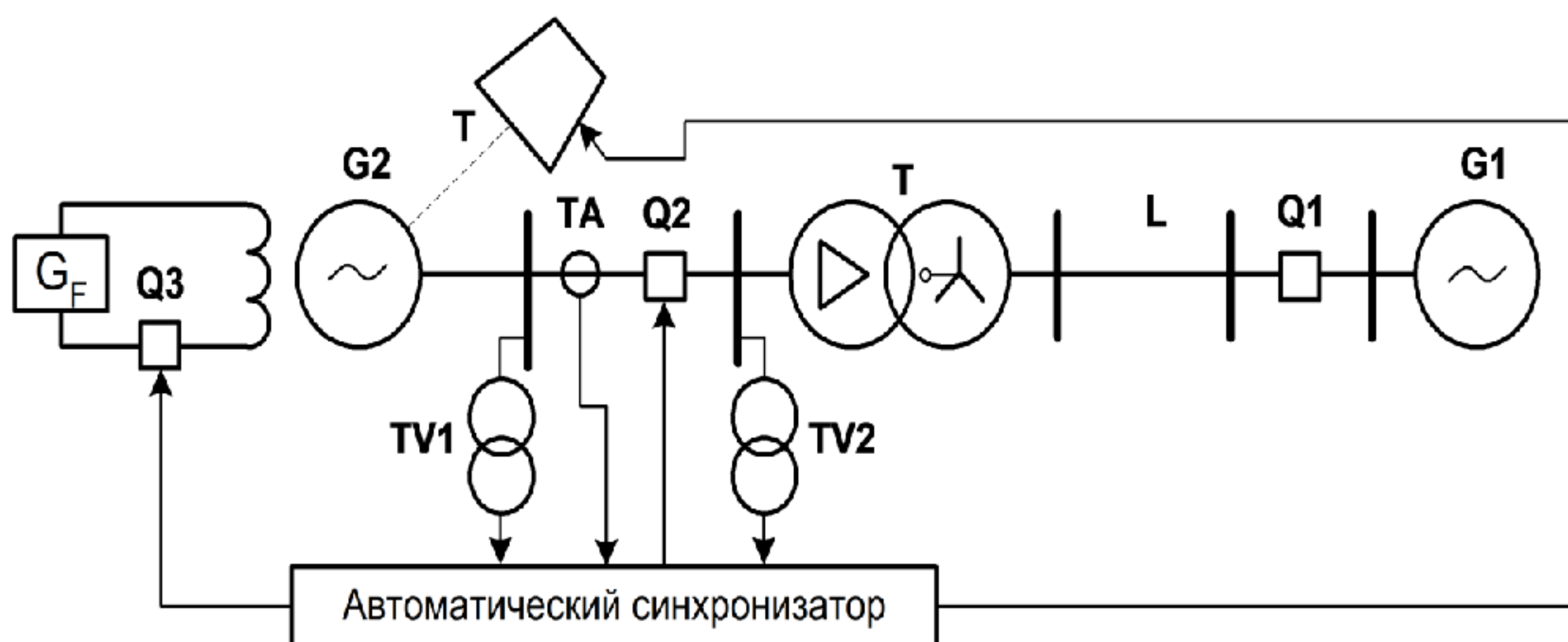


Рисунок 2.1 – Модель одномашинной электрической системы

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.

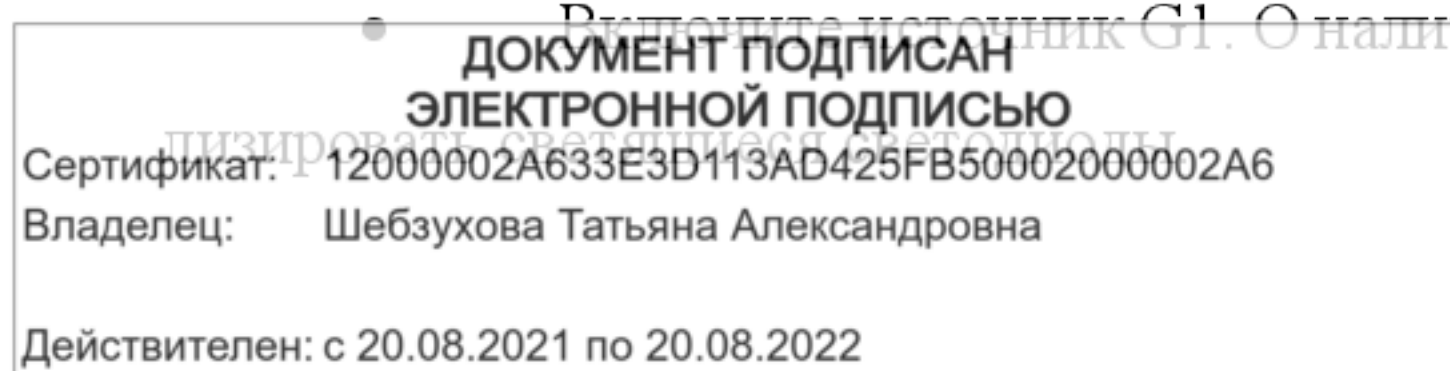
Таким образом, в данной работе моделируется комплексное управление электрической системой – управление подключением генератора к системе бесконечной мощности, регулирование активной и реактивной мощностей генератора, управление отключением генератора от электрической системы.

Указание по технике безопасности:

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

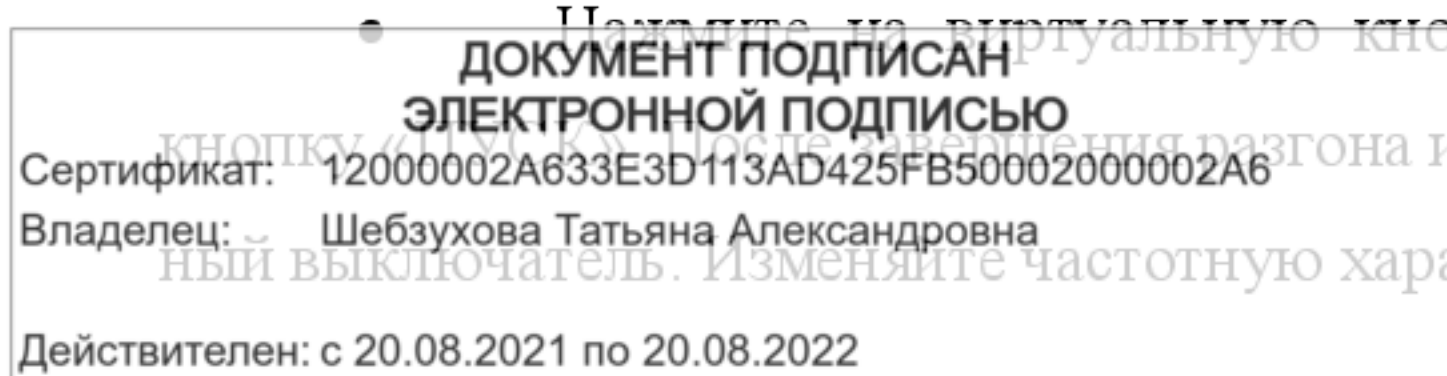
Указания по выполнению лабораторной работы:

- 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 «РЕ» 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 А6 установите равными 10 % от 50 Вт.
- Готовим аппаратуру к проведению эксперимента в ручном режиме.
- Переключатели режимов работы трехполюсного выключателя А4, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины установите в положение «РУЧН.». Тумблеры делителей напряжения коннектора А11 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора А11 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока А10 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 А4, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины, указателей А1 и А7 частоты вращения, измерителя мощностей А3.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А12 и запустите программу «Автоматическое управление - 1».
- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнала-



- 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 передней 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 A4, нажав соответствующую кнопку на его передней панели. Обратите внимание на изменение параметров режима работы схемы.
- Изменяйте мощности фаз активной нагрузки A6, 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 A4.
- Готовим аппаратуру к проведению эксперимента в автоматическом режиме.
- Переключатель режима работы источника G2, возбудителя G3 и трехполюсного выключателя A4 установите в положение «АВТ.».
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока A10 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 «ВКЛ.» на передней панели источника возбуждения генератора включите виртуальный выключатель. Изменяйте частотную характеристику задания (путем «перетаскивания»



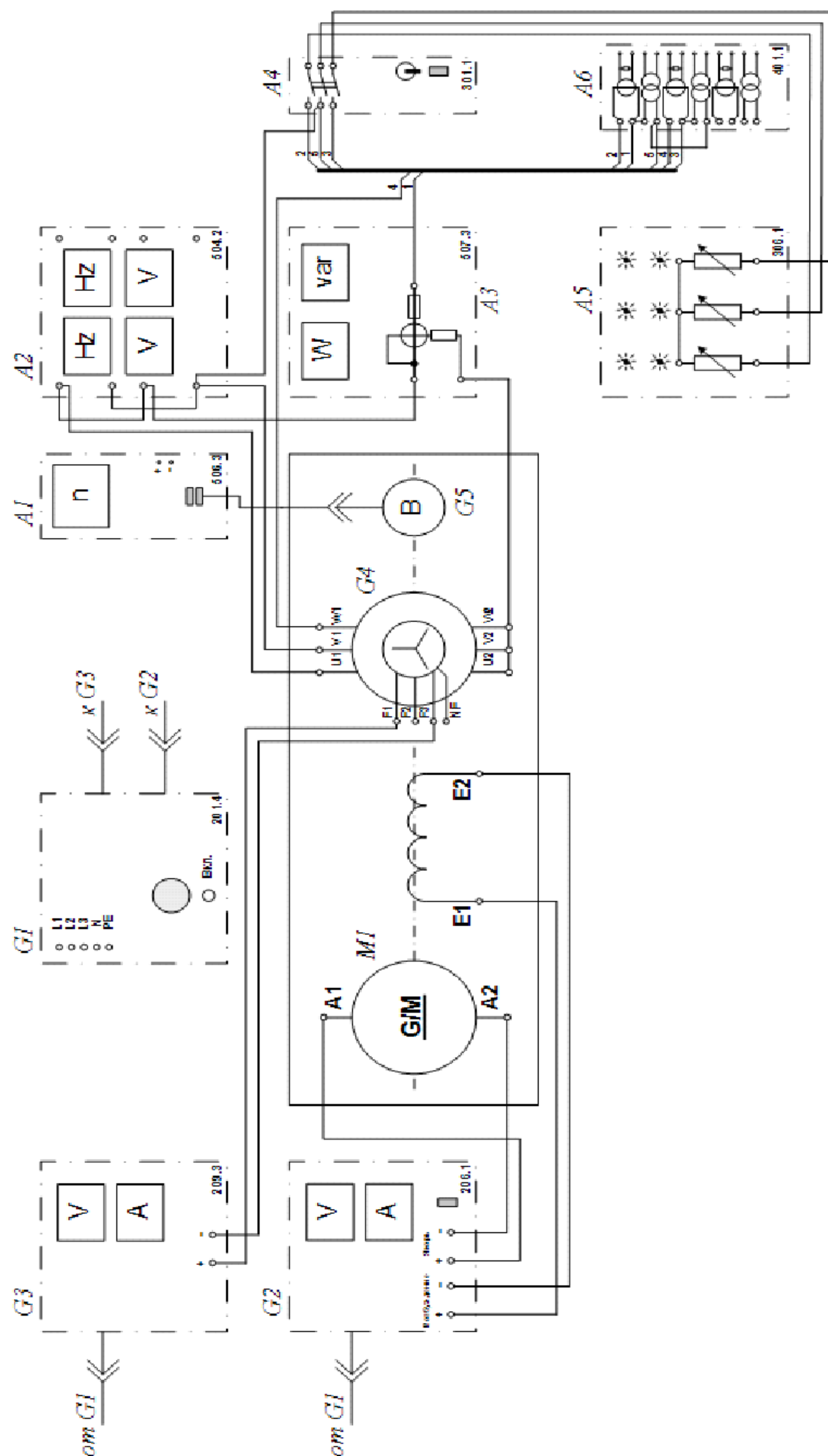
мышкой белой точки на соответствующем графике), мощности фаз активной нагрузки А6, задание напряжения на шинах генератора (с помощью виртуальной регулировочной рукоятки). Наблюдайте изменение режимных параметров схемы.

- 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».

При работе с программой следует пользоваться её возможностями:

- 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.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

схема управления режимом автономно работающего синхронного генератора.

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. 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:

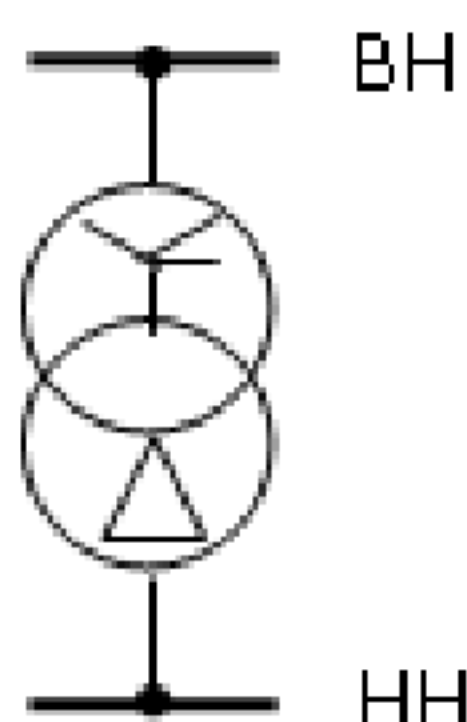


Рисунок 3.1 – Условное обозначение двухобмоточного трансформатора

- 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).

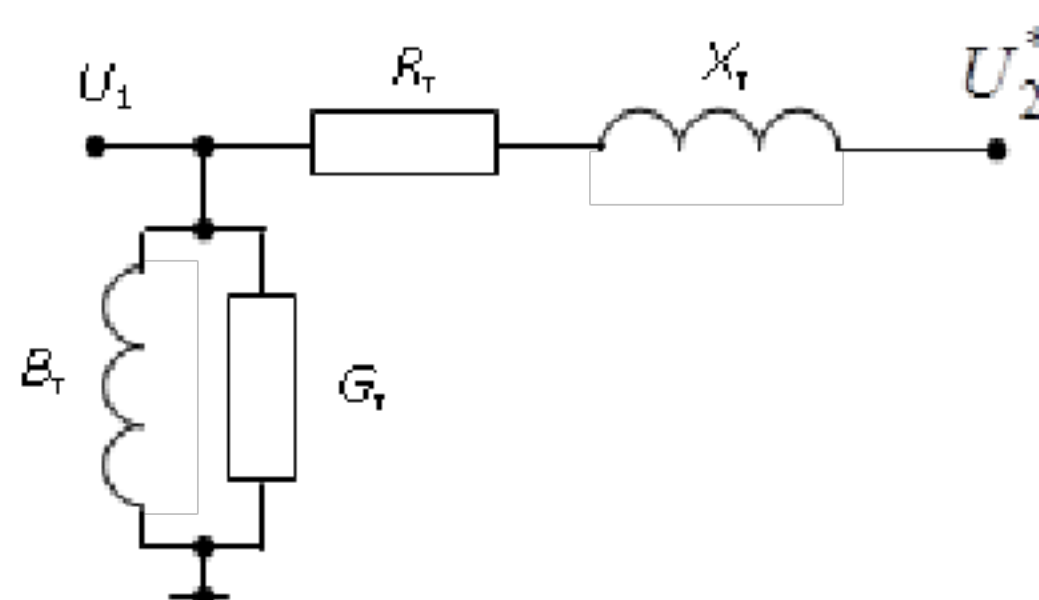


Рисунок 3.2 – Г-образная схема замещения двухобмоточного трансформатора

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

$$R_T = R_B + R_H^*;$$

$$X_T = X_B + X_H^*.$$

Поперечная ветвь схемы замещения представлена активной G_T и реактивной B_T 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 ΔP_x в кВт;
- потери активной мощности в режиме короткого замыкания ΔP_k в кВт;
- напряжение короткого замыкания U_k , 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 ΔP_x , 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:

$$\Delta Q_{ст} = \Delta Q_x = \frac{I_x}{100} S_{ном}.$$

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:

$$\Delta P_{мд} = \frac{S^2}{U^2} R_T;$$

$$\Delta Q_{мд} = \frac{S^2}{U^2} X_T$$

где: S – мощность нагрузки;

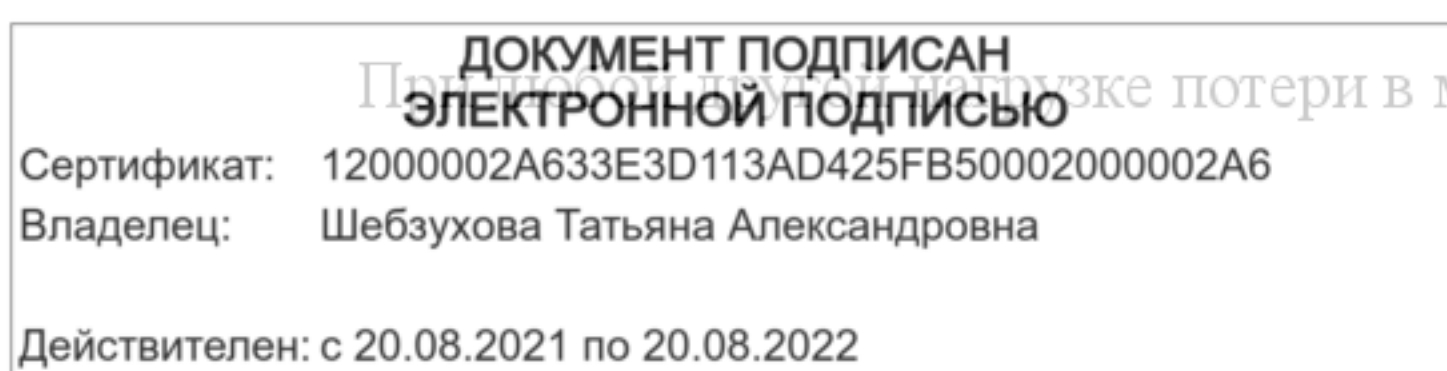
U – линейное напряжение на вторичной стороне трансформатора.

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:

$$\Delta P_k = 3 \cdot I_{ном}^2 \cdot R_T = \frac{S_{ном}^2}{U_{ном}^2} R_T.$$

Потери короткого замыкания 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 $\Delta P_{\text{мд}}$:

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

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:

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

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

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:

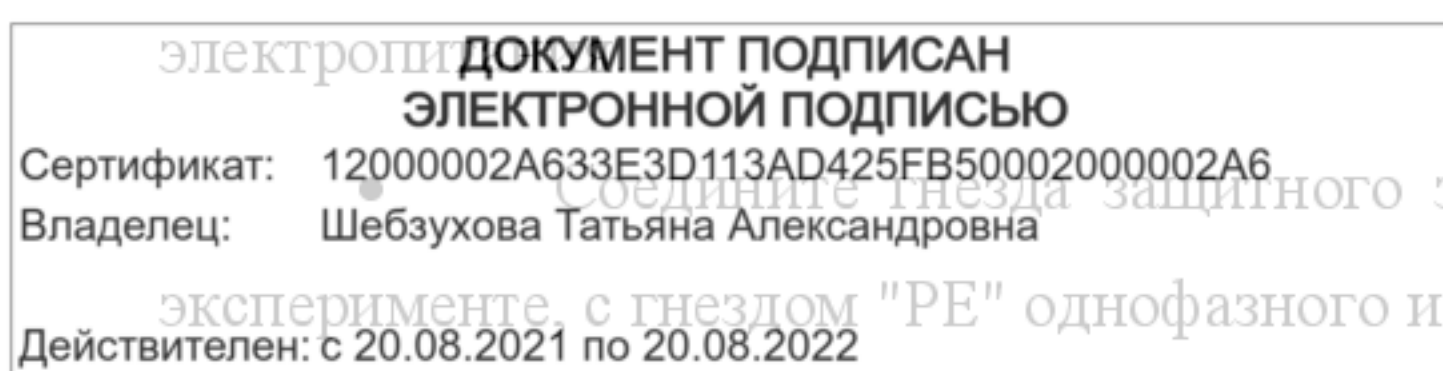
$$\Delta P_{\text{т}} = n \cdot \Delta P_{\text{х}} + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{к}} \left(\frac{S}{S_{\text{ном}}} \right)^2;$$

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



заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" 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.

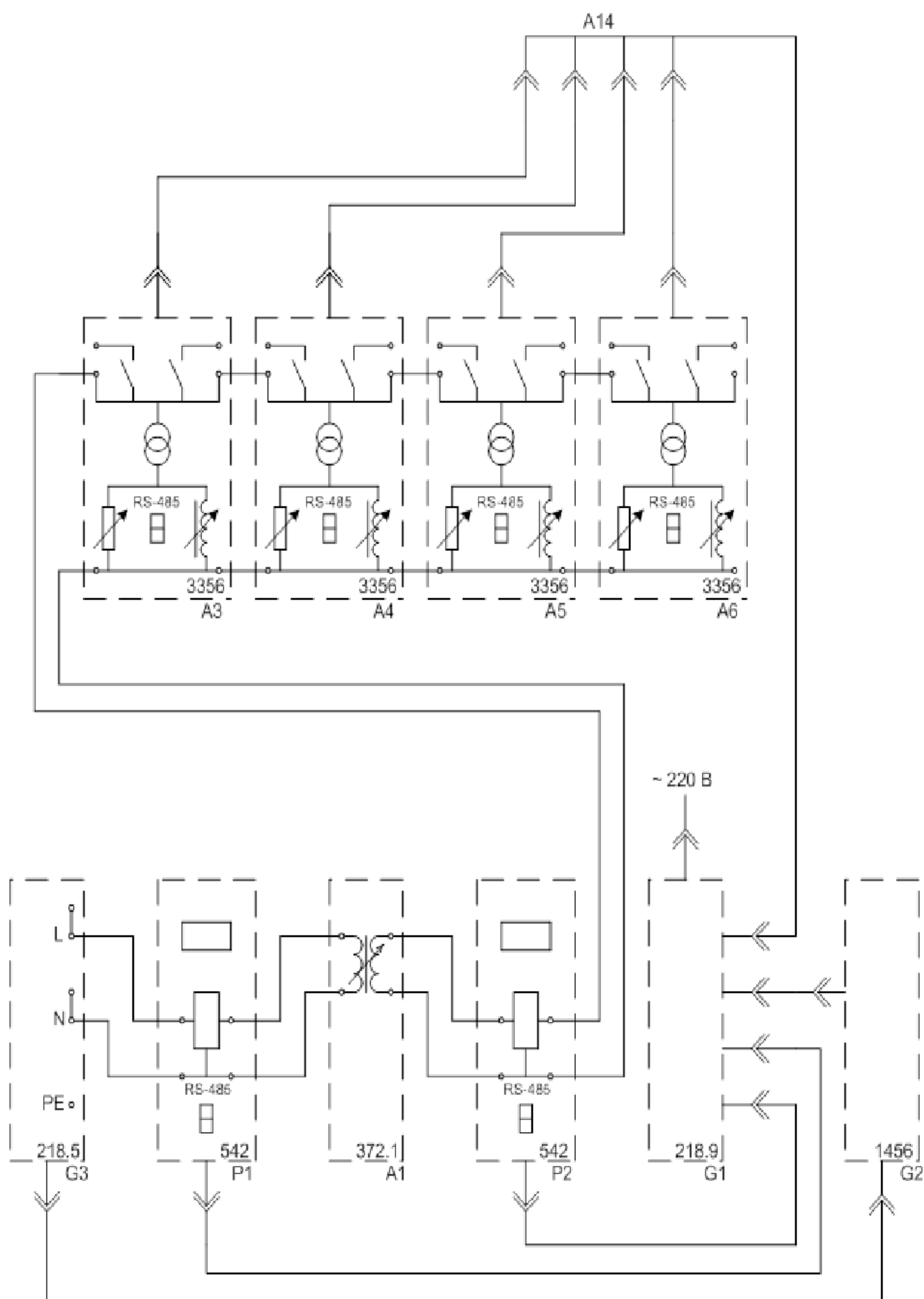


Рисунок 2.3. Схема для измерения параметров установившегося режима работы

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 применятся 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. 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 основном заключаются в том, что в процессе пуска ротор машины разгоняется 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.

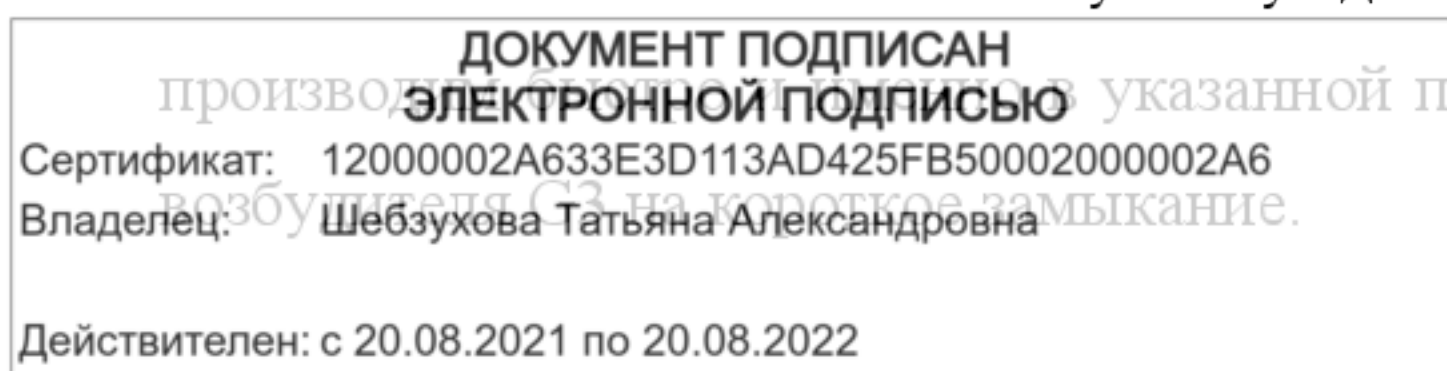
В данном эксперименте обмотки ротора универсальной машины переменного тока выполняют роль пусковых при разгоне компенсатора. По окончании разгона в обмотки ротора подается постоянный ток и происходит втягивание машины в синхронизм.

Указание по технике безопасности:

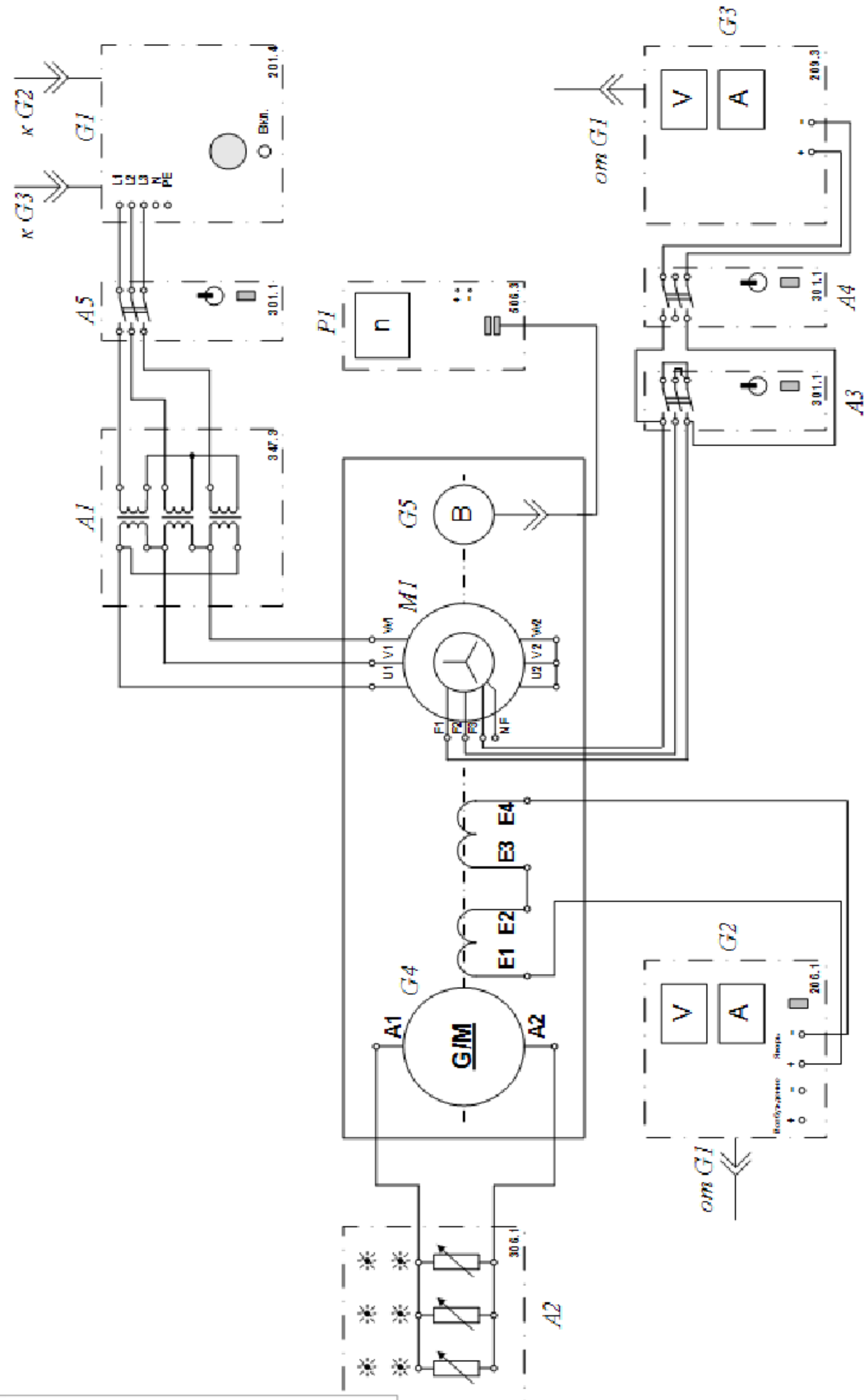
Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Замыкаем обмотку возбуждения двигателя.
- Включите выключатель АЗ кнопкой «ВКЛ».
- Включаем двигатель как асинхронный.
- Включите выключатель АЗ кнопкой «ВКЛ». Двигатель М1 должен прийти во вращение.
- Размыкаем обмотку возбуждения и подключаем к ней возбудитель. Действие



- 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.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рис. 1. Принципиальная схема пуска синхронного компенсатора реактивной мощности без нагрузки на валу

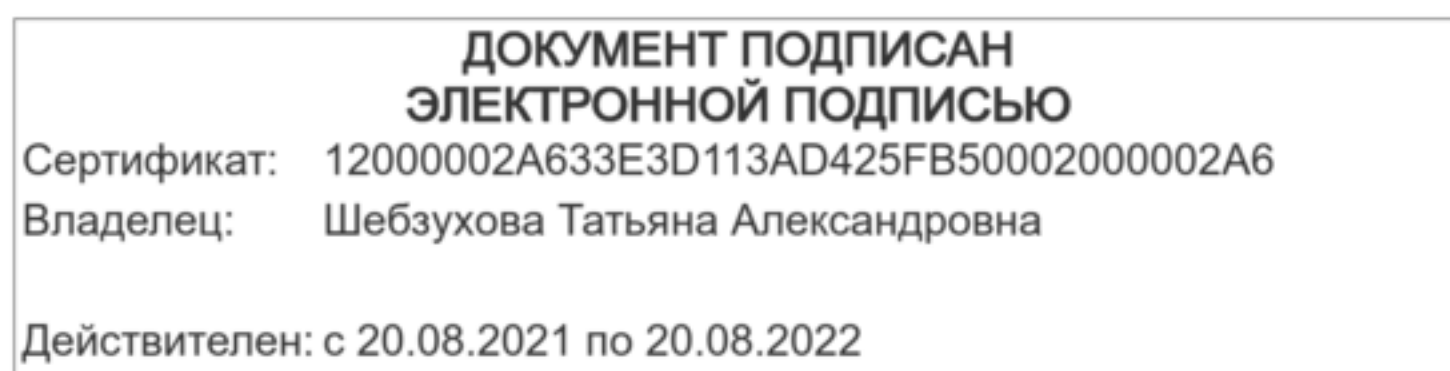
Содержание отчета:

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

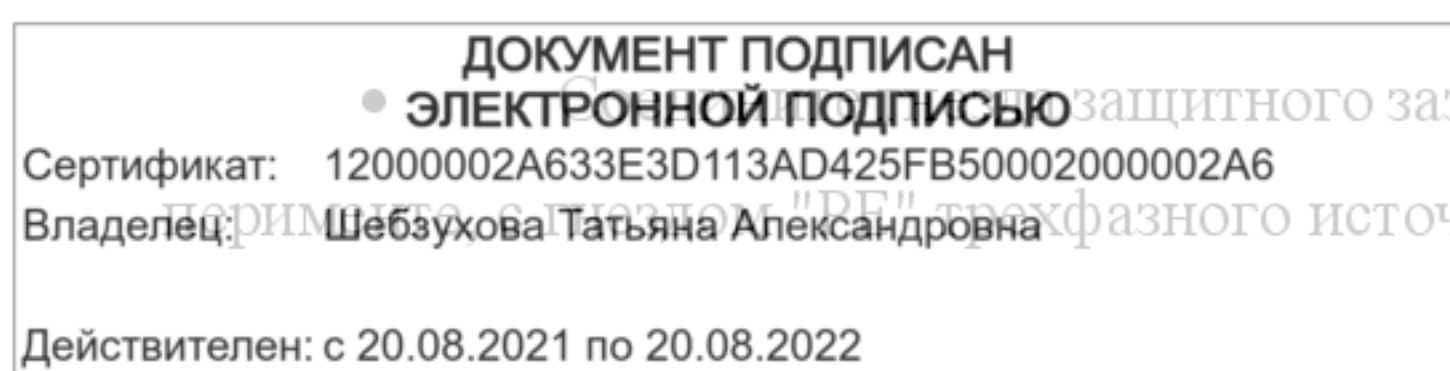
В данной работе имеется возможность смоделировать одно- и двухступенчатый реакторный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с одновременным отображением параметров на экране компьютера.

Указание по технике безопасности:

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

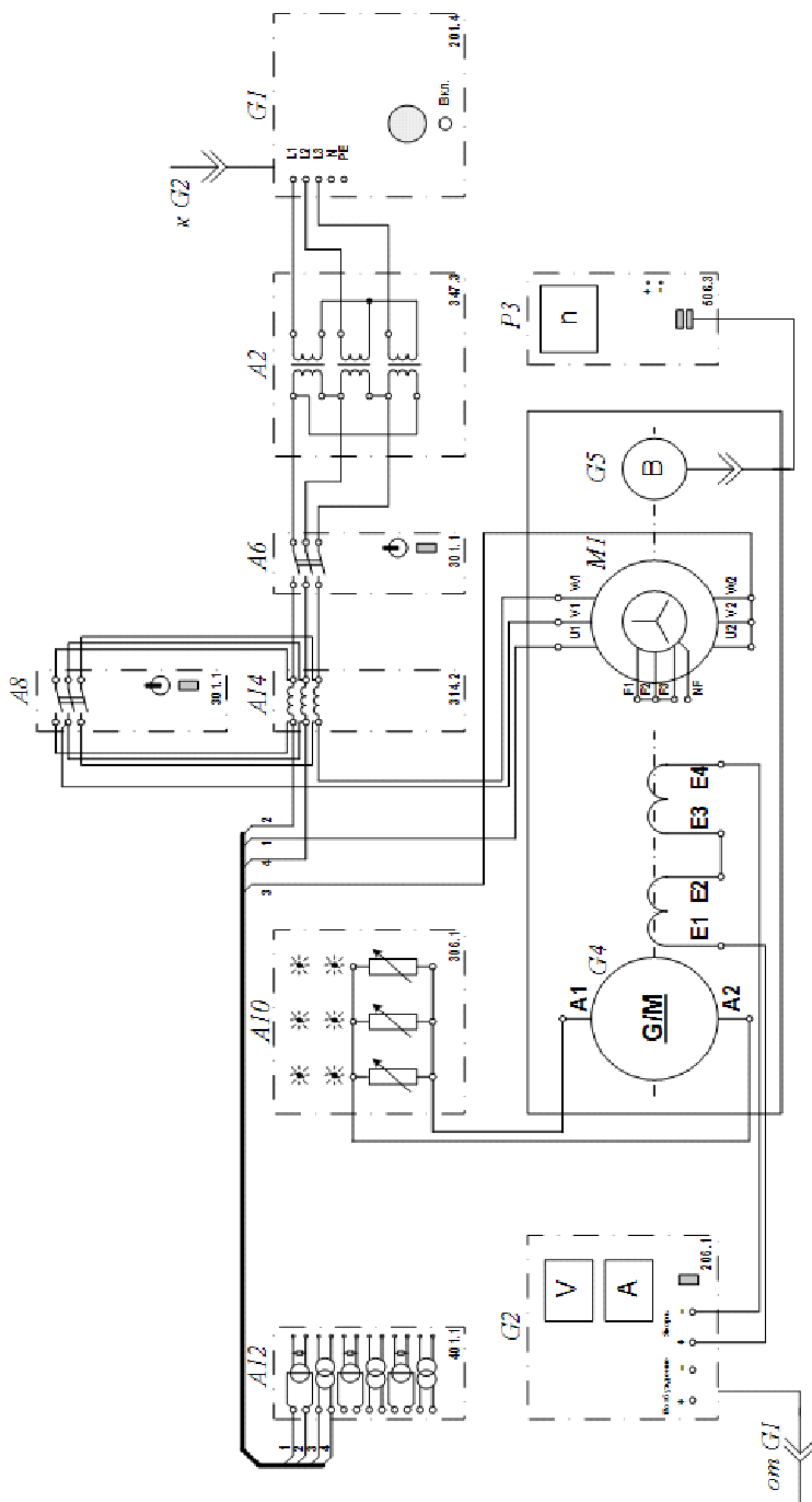
Указания по выполнению лабораторной работы:

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.



...защитного заземления "■" устройств, используемых в эксперименте с целью "РЕ" 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.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Схема прямого/реакторного пуска асинхронного
двигателя с короткозамкнутым ротором

Лабораторная работа №6. 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.

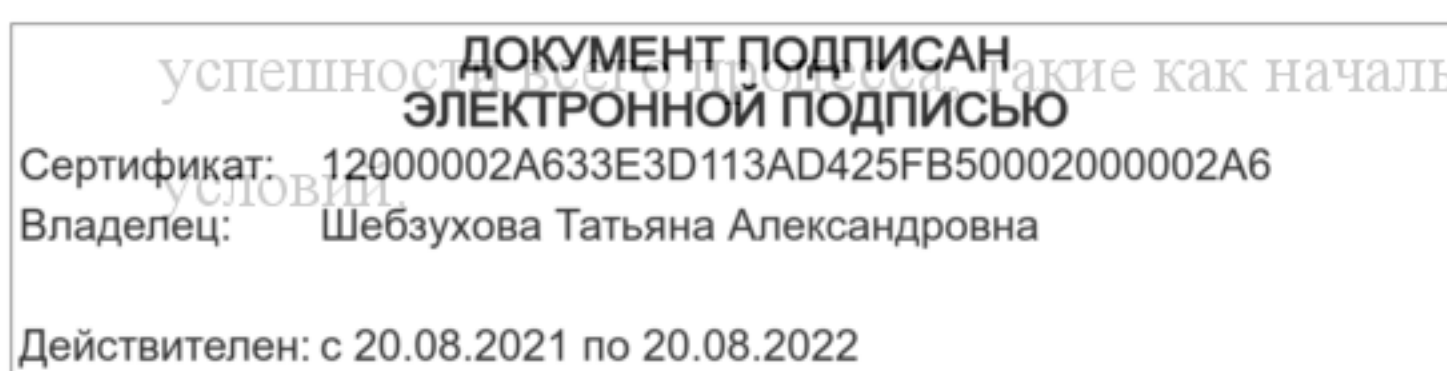
Некоторые из причин возникают достаточно редко или никогда, но для профилактики проводят испытания на самозапуск, когда создают условия близкие к вышеуказанным, с возможными отключениями основного оборудования. Данные испытания призваны повысить надежность и проверить работоспособность защит и уставок.

При успешном самозапуске двигателя после затормаживания вновь набирают обороты и продолжают работу. При неуспешном самозапуске двигателя 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

успешность самозапуска как начальное напряжение и выполнение определенных



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).

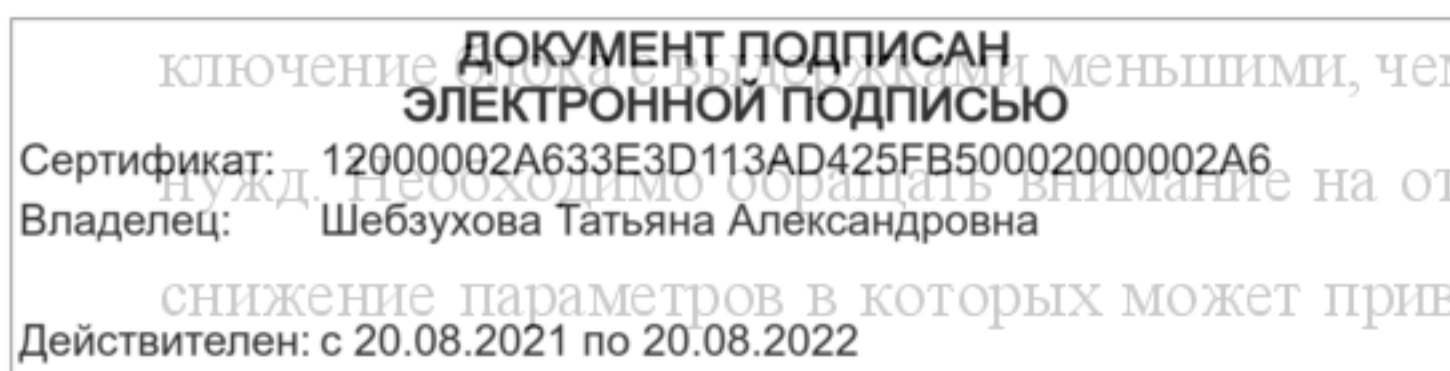
Список ответственных механизмов утверждается главным инженером предприятия, но в общем случае, к таким агрегатам относятся самые мощные ПЭНы, сетевые насосы, тягодутье котлов (дымососы и вентиляторы котлов), дымососы рециркуляции, конденсатные насосы, циркуляционные насосы. Самые ответственные механизмы 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 от-



дельные технологические системы, глубокое отключение 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 оборудования 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 приложении	ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

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 «РЕ» 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: $R = 0 \text{ Ом}$, $L/RL = 0,9 \text{ Гн/24 Ом}$, $C1=C2=0 \text{ мкФ}$.
- 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. Результаты выполнения работы и выводы;

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

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?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Лабораторная работа №7. 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.

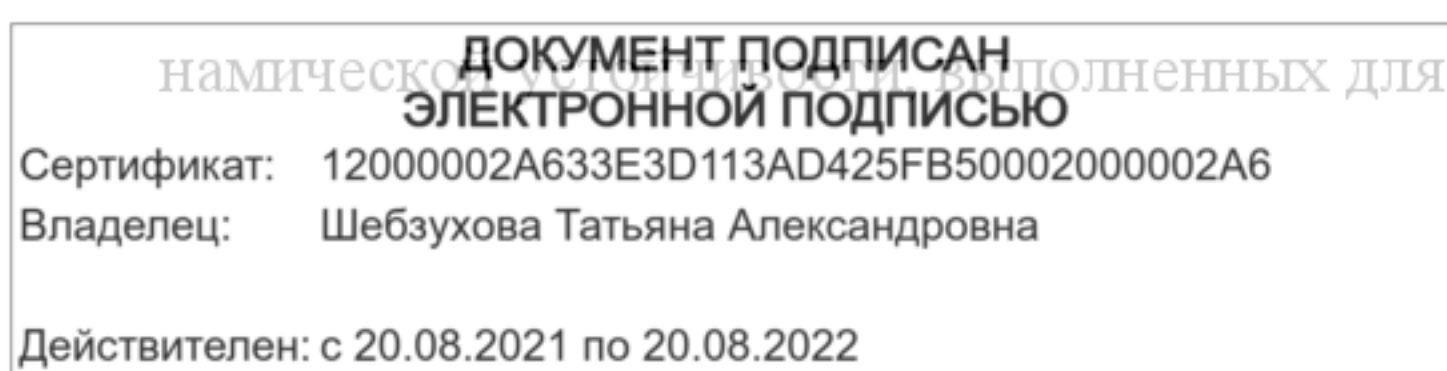
Расчет статической и динамической устойчивости выполняется для:

- 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 ди-

намической 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 потере 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 контролиро-

вать напряжение в установленных рамках.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 аварийнодопустимые 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:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

при выполнении лабораторных работ приведены

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 А1, А2, А3 включены последовательно в фазы А, В и С между модулем синхронизации и силовым трансформатором Т2. Измерительные каналы по напряжению А4, А5, А6 подключены к клеммам А1, В1, С1 модуля силового трансформатора, измерение напряжений осуществляется относительно общей точки обмоток силового трансформатора Т2. 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).

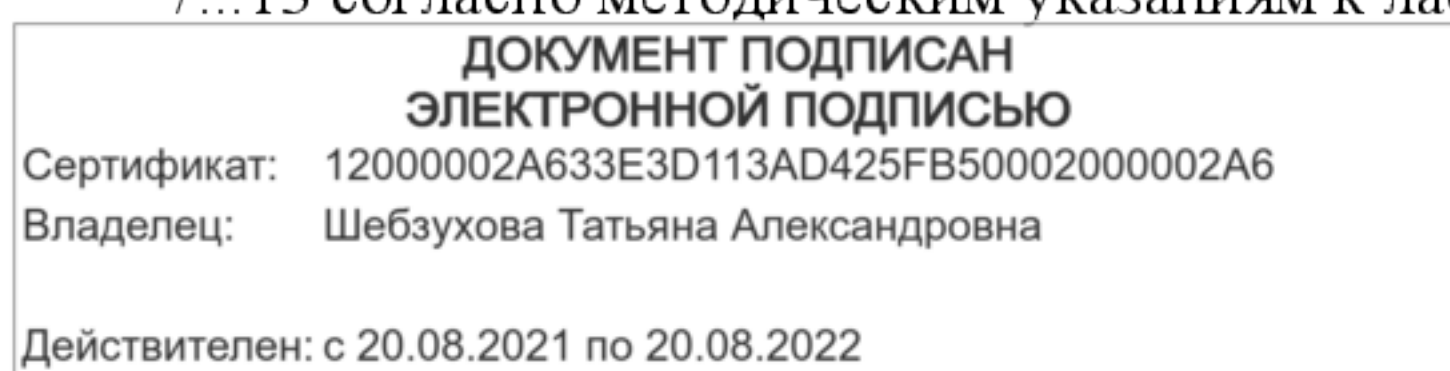
- Перевести переключатели режима управления всех задействованных блоков в положение «Руч». Установить потенциометры задания RP1 модуля частотного преобразователя и модуля возбуждения в крайнее левое положение.

- 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.

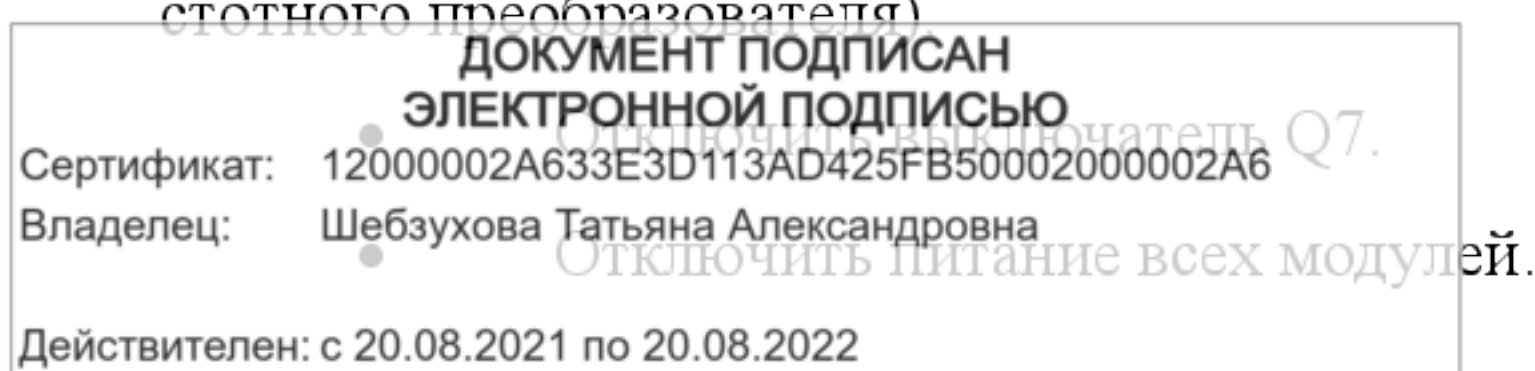
- Включить генератор на параллельную работу с сетью (выполнить пункты 7...13 согласно методическим указаниям к лабораторной работе №3).



- 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 ($i_B = \text{const}$).
- Повторить опыты при других значениях тока возбуждения (больше и меньше начального).
- Отключить стенд в соответствии с ПОРЯДКОМ ОТКЛЮЧЕНИЯ СТЕНДА.

ПОРЯДОК ОТКЛЮЧЕНИЯ СТЕНДА:

- 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 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.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

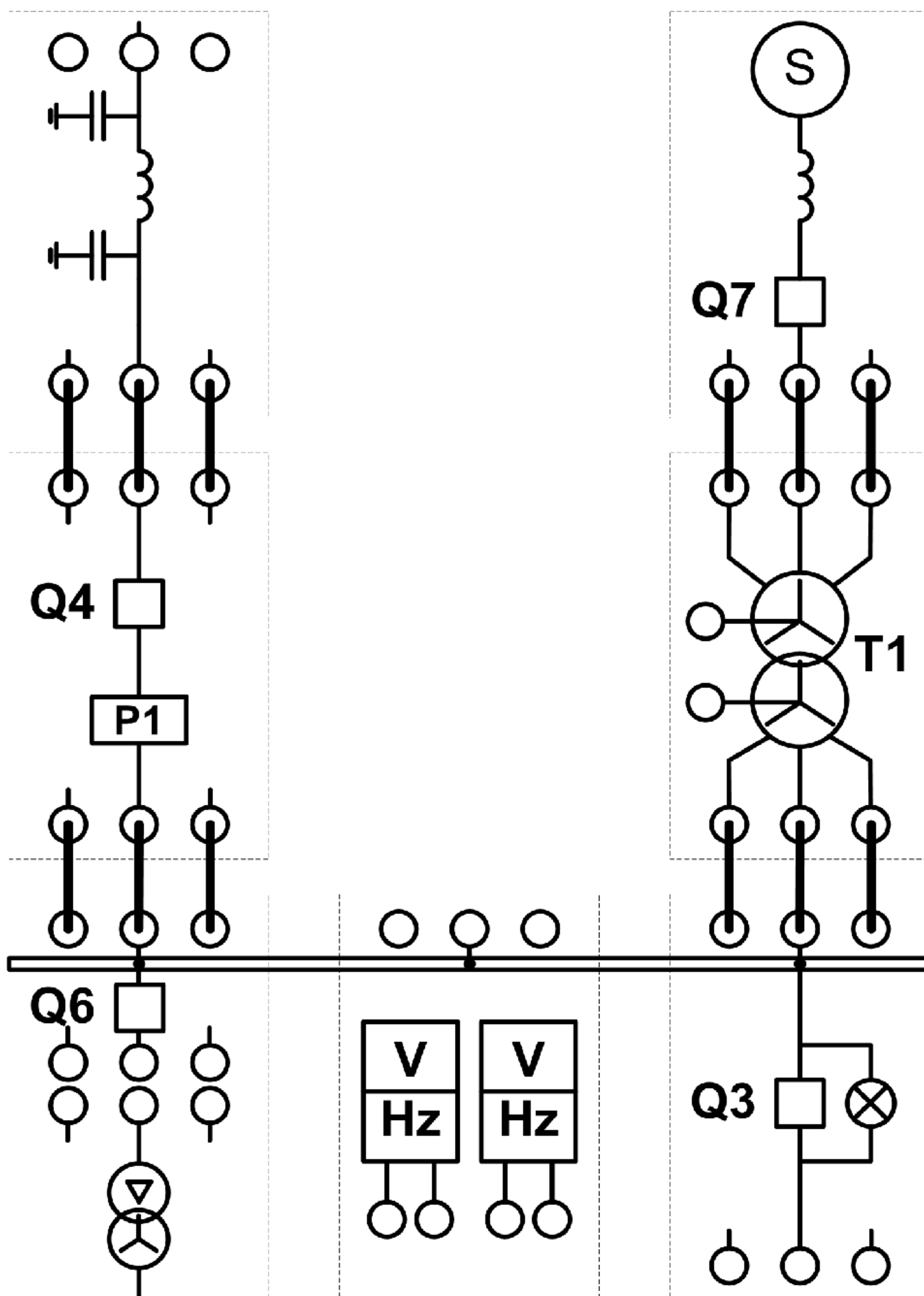


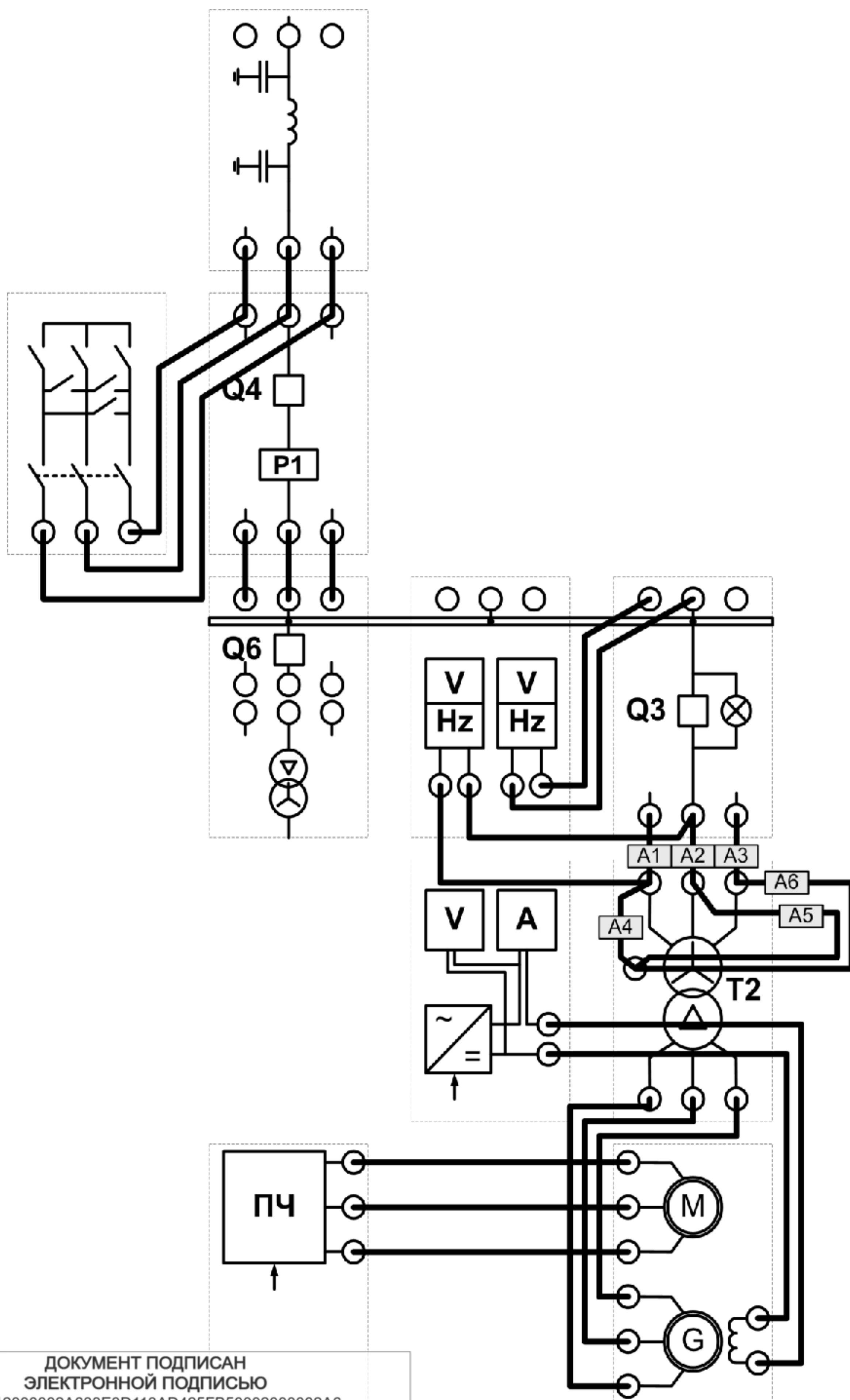
Рисунок 7.1 – Принципиальная схема лабораторной стойки №1

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 $P_1(\delta)$ и $2 P_2(\delta)$ не совпадают?

Лабораторная работа 8. 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 определения соотношения 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 получают 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 получают 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.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Короткое замыкание делит цепь на две части:
правую - с сопротивлениями r_1 и $x_1 = \omega L_1$ в каждой фазе

- левую - содержащую источник питания и сопротивления цепи КЗ r_k и $x_k = \omega L_k$. 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 r_l . Величина тока при активно-индуктивном характере сопротивления цепи не превысит тока нормального режима, который постепенно затухая до нуля, не представляет опасности для оборудования.

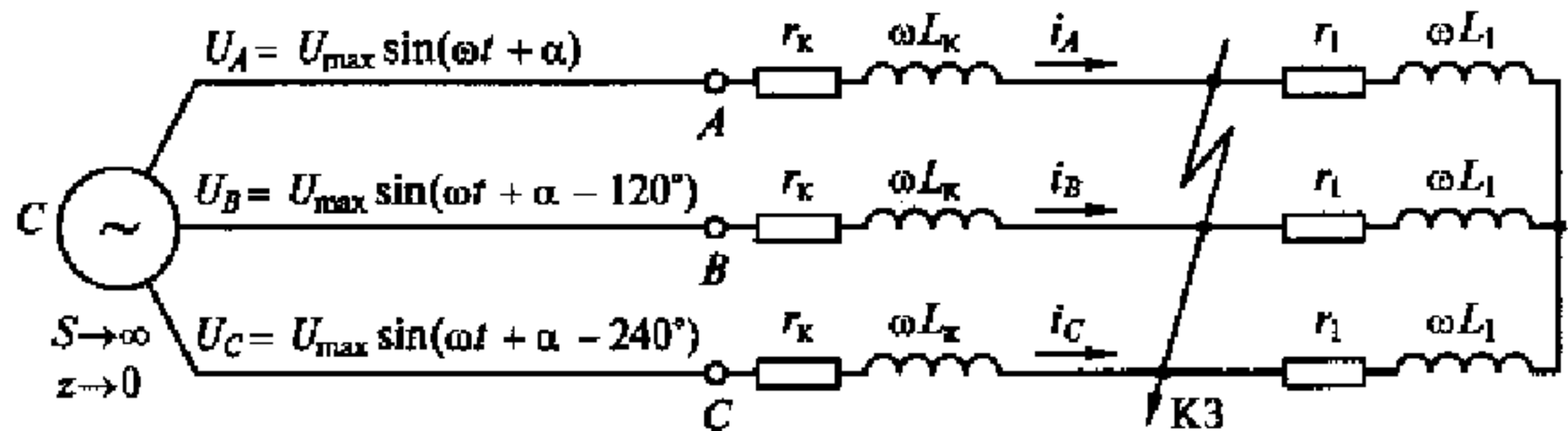


Рисунок 8.1 – Трехфазное КЗ в цепи, питающейся от источника бесконечной мощности

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

$$u = i \cdot r_k + L_k \cdot \frac{di}{dt}$$

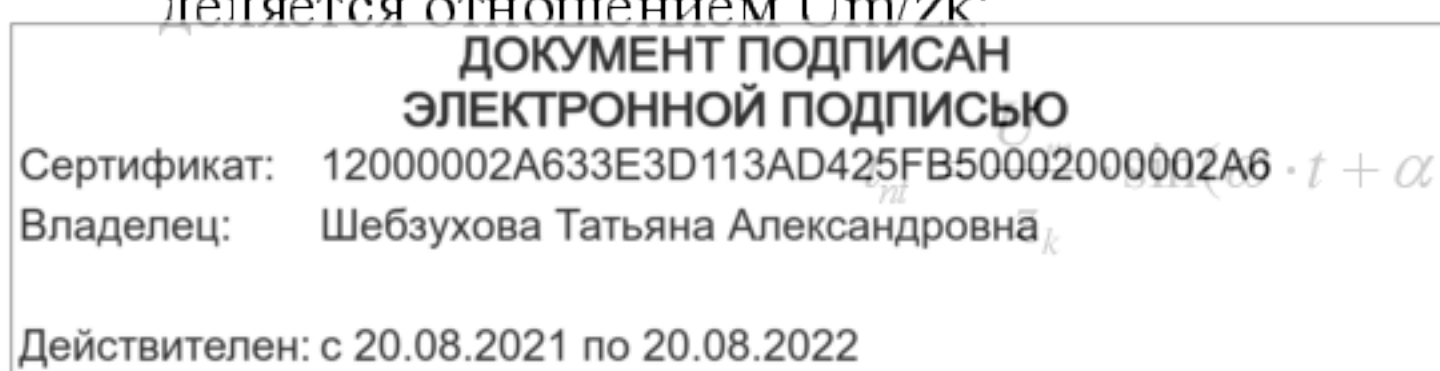
Решение этого уравнения даст выражение для мгновенного значения тока в любой момент времени t от начала КЗ.

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

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

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 I_{pm} и определяется отношением U_m/z_k :

$$i_{kt} = \frac{U_m}{z_k} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k) = I_{pm} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k)$$



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:

$$I_{it} = I_{i0} = \frac{I_{im}}{\sqrt{2}} = const$$

- апериодической составляющей

$$I_{at} = t_{at}$$

- полного тока КЗ

$$I_{kt} = \sqrt{I_{it}^2 + t_{at}^2}$$

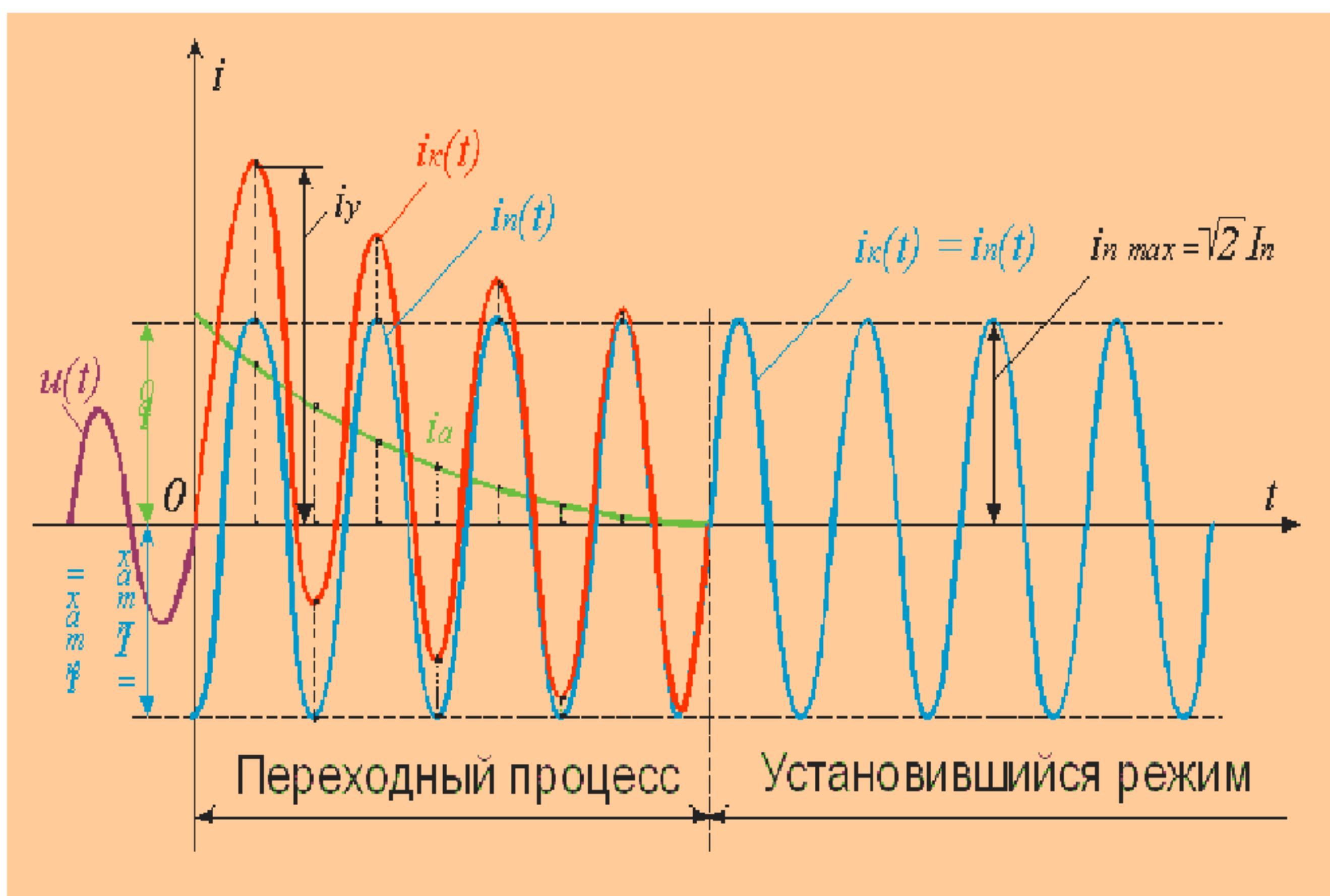


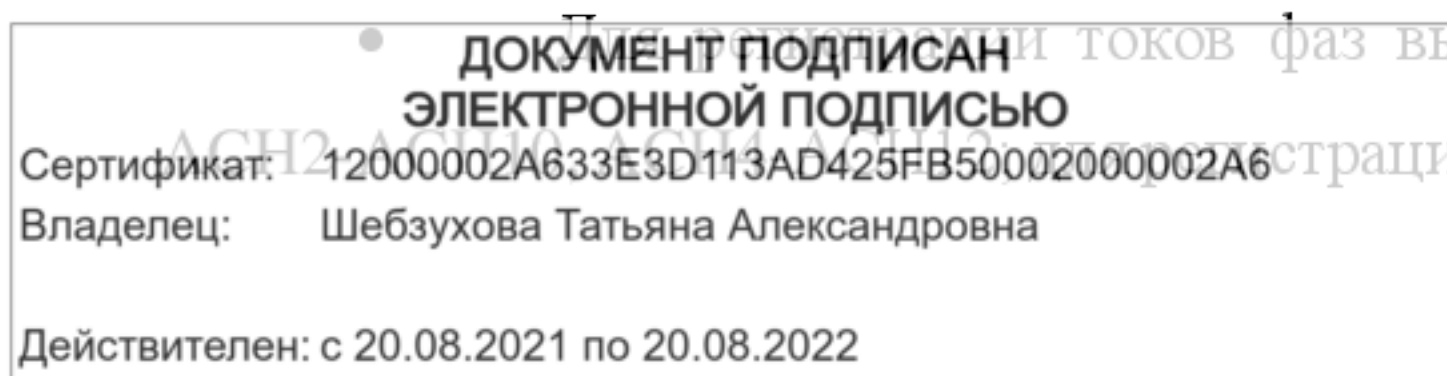
Рисунок 8.2 – Изменение тока трехфазного короткого замыкания и его составляющих для случая возникновения максимального значения апериодической составляющей

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 "РЕ" 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 K1, K2, K3 и K4; двухфазного – K1 и K2; двухфазного на землю – K1, K2 и K4; однофазного – K1 и K4.
- 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 A1 и A5 выберите равными 127 В.
- Выберите мощность индуктивной нагрузки A7 – 100 % от 40 Вар во всех фазах, активной A6 – 10% от 50 Вт во всех фазах.
- Переключатель режима работы выключателя A4 установите в положение «РУЧН.».
- Установите следующие параметры моделей линий электропередачи A2 и A3: $R = 200 \text{ Ом}$, $L/R = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$, $C = 0 \text{ мкФ}$.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A10 и запустите программу «Многоканальный осциллограф».
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения источника G1.
- Включите ключ-выключатель источника G1.



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 Р1.
- Нажмите кнопки «ВКЛ» включения сканирования первого, второго и третьего каналов виртуального осциллографа.
- Нажмите кнопку «ВКЛ» источника G1. Включите выключатель «СЕТЬ» трехполюсного выключателя А5.
- Смоделируйте короткое замыкание, нажав кнопку «ВКЛ» трехполюсного выключателя А4. По цифровым индикаторам определите значения установившихся токов и напряжений при коротком замыкании.
- Отключите выключатель А4 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.**

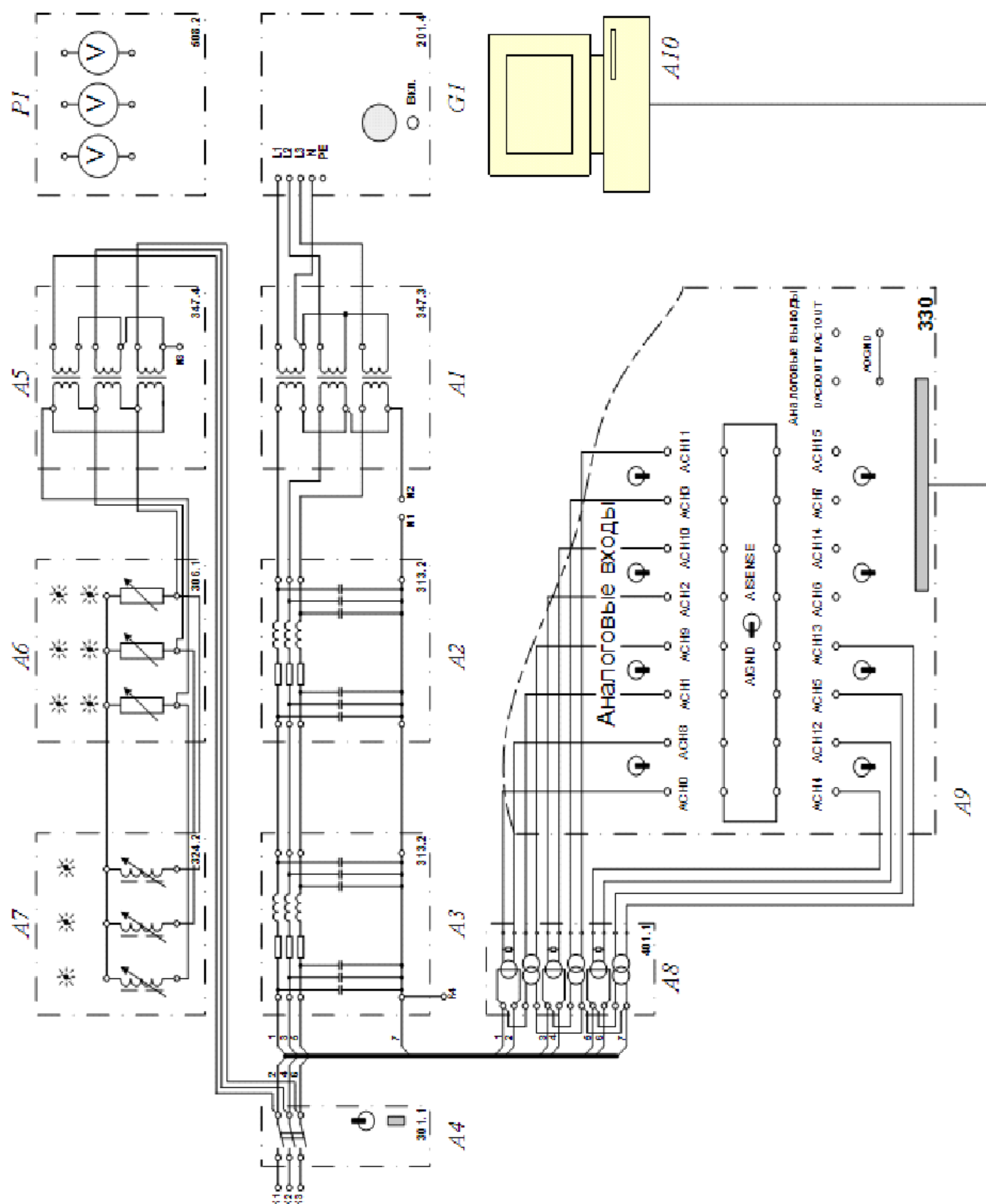


Рисунок 8.3 – Принципиальная схема исследования соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Документ подписан	
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
3. Краткие теоретические сведения;	
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

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 аperiodической 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. 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.

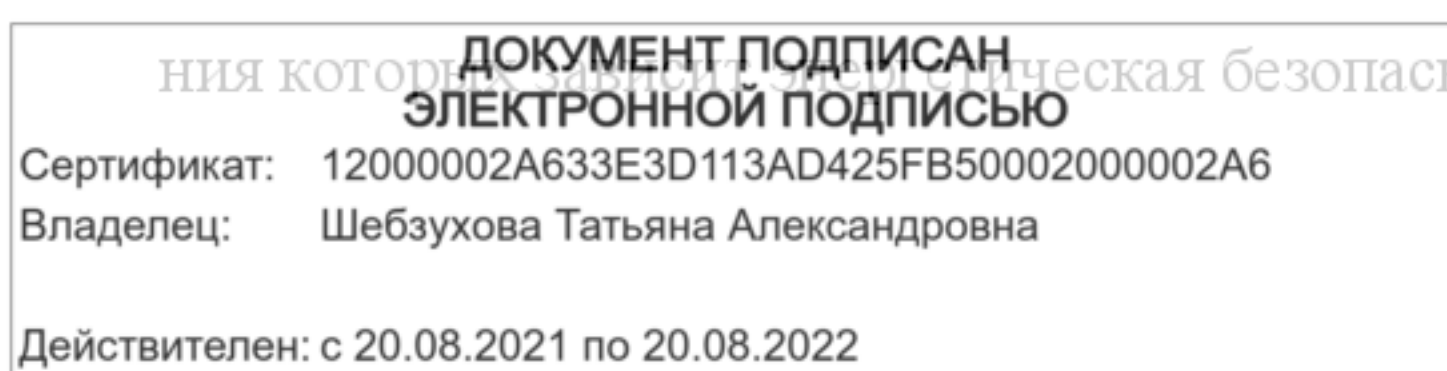
Энергосистемы смежных стран могут включаться на параллельную синхронную работу. Центральная диспетчерская система (ЦДС) осуществляет оперативно-диспетчерское управление межгосударственными электрическими сетями, по которым осуществляются перетоки мощностей между энергосистемами смежных стран.

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 линиями электропередач.

Исходя из вышеперечисленного, следует, что система оперативно-диспетчерского управления энергосистемой обеспечивает ключевые задачи в энергосистеме, от выполне-

ния 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.

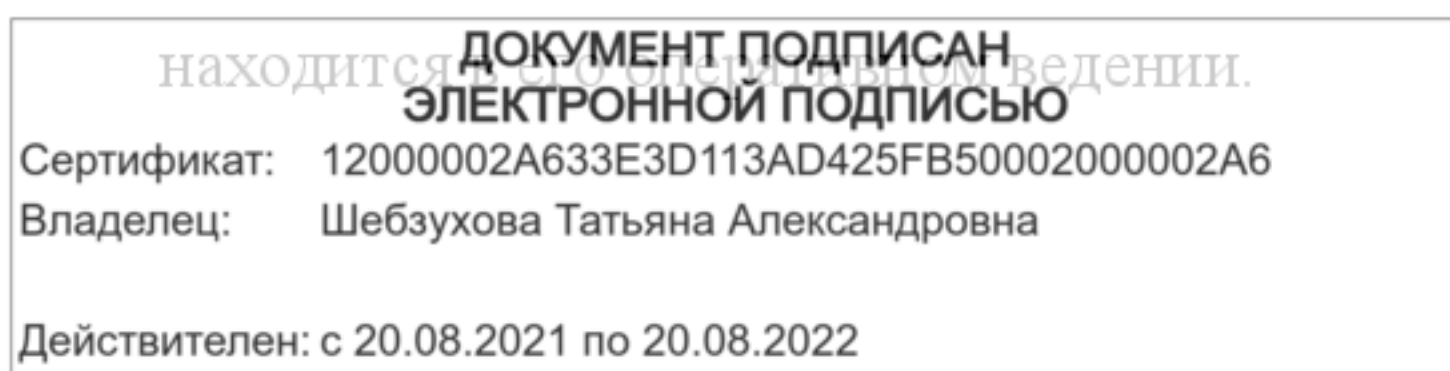
Для обеспечения нормальных условий работы как отдельных участков энергосистемы, так и энергосистемы в целом, для каждого объекта разрабатываются специальные режимы (схемы), которые следует обеспечивать в зависимости от режима работы того или иного участка электрической сети (нормальный, ремонтный, аварийный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



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

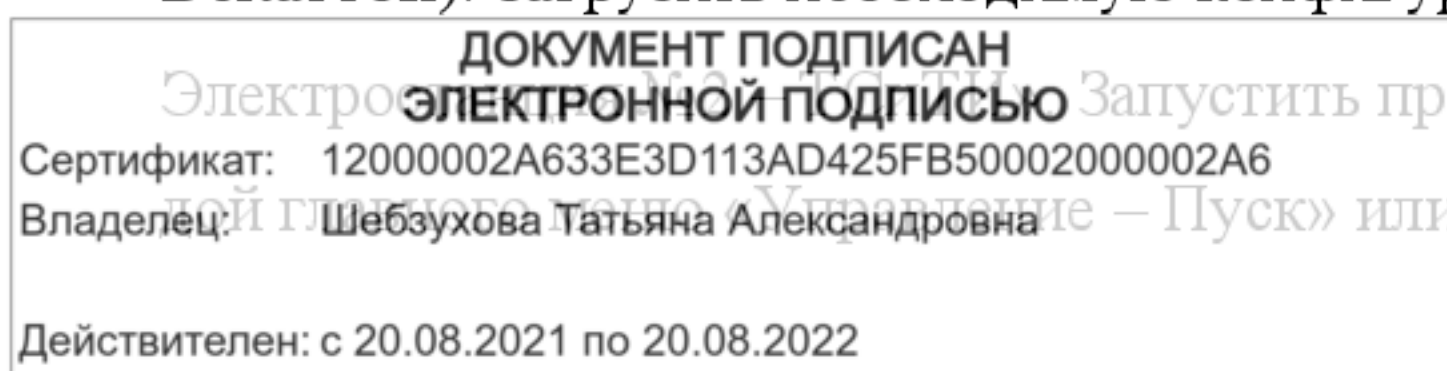
Для организации процесса ОДУ разрабатываются и согласовываются между собой инструкции, указания и различная документация для каждого отдельного подразделения в соответствии с уровнем, к которому относится та или иная оперативная служба. Для каждого уровня системы ОДУ имеется свой индивидуальный перечень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



- 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.

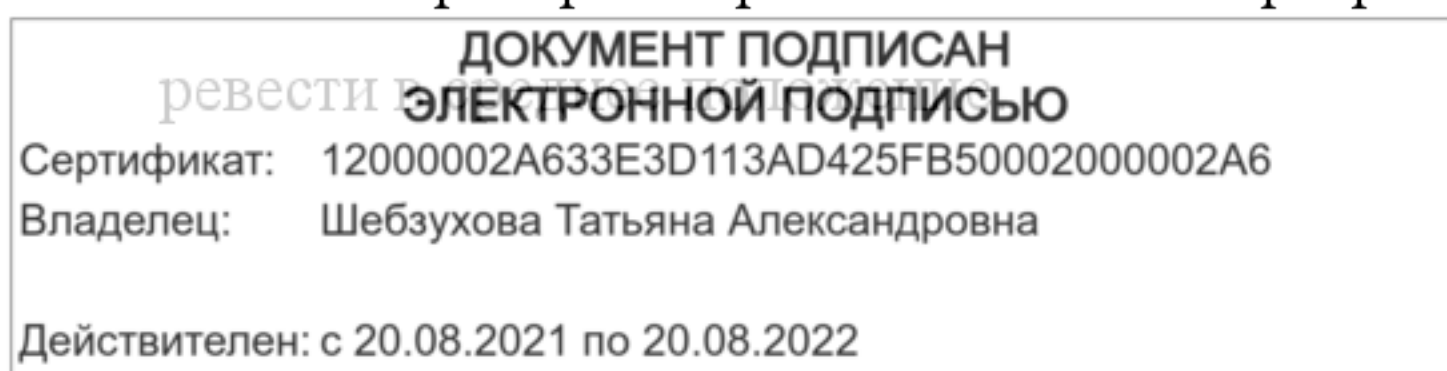
- Включить выключатели линии электропередачи W2, подачей дистанционных команд с локальных комплексов управления станциями №1 и №2. Записать изменившиеся значения режимных параметров.

- 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. Плавное повышение сигнала 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.

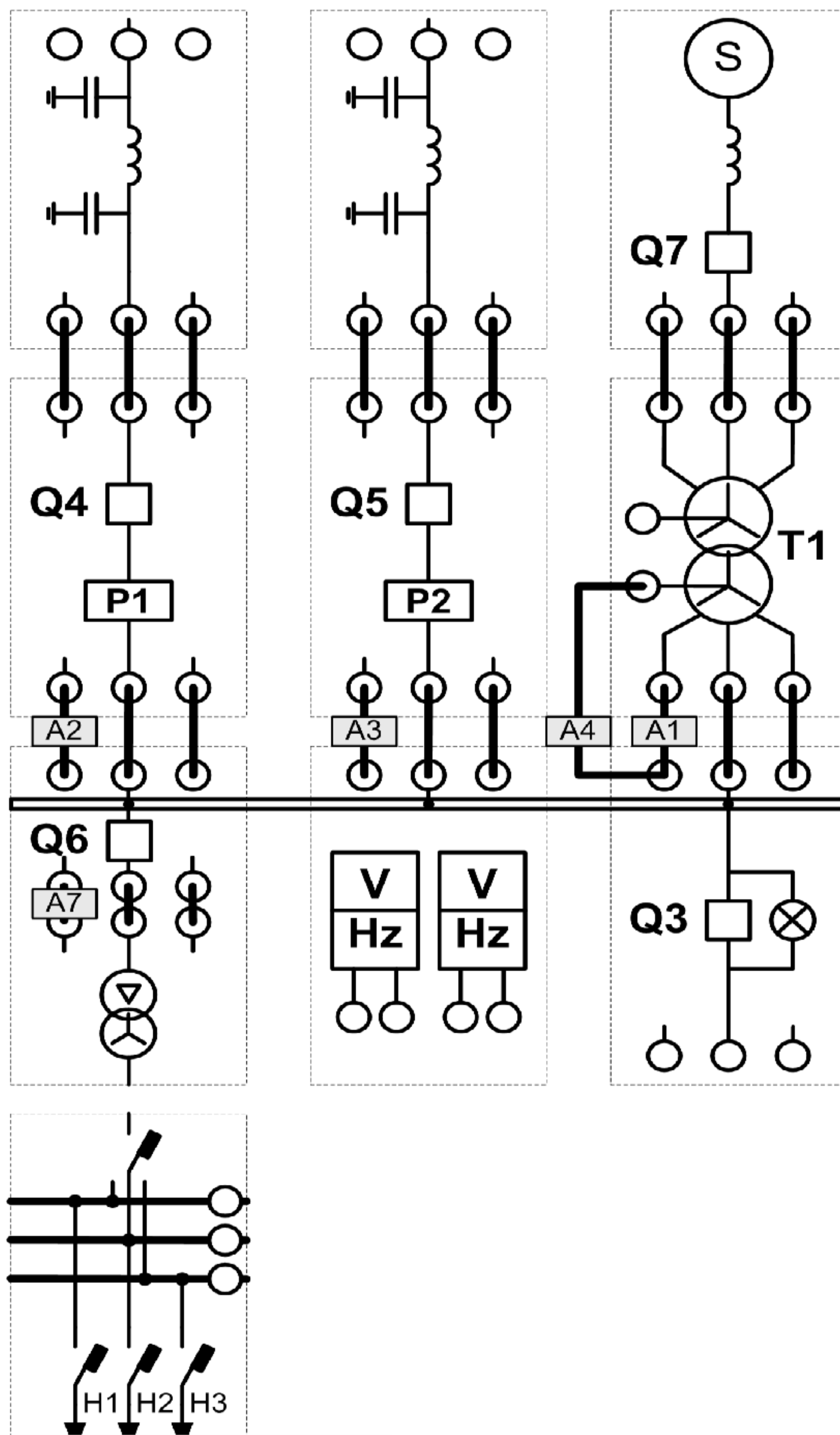
- На ЦКДУ подать дистанционные команды на отключение одной из линий электропередач. Записать изменившиеся значения режимных параметров.

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 пе-



- 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.



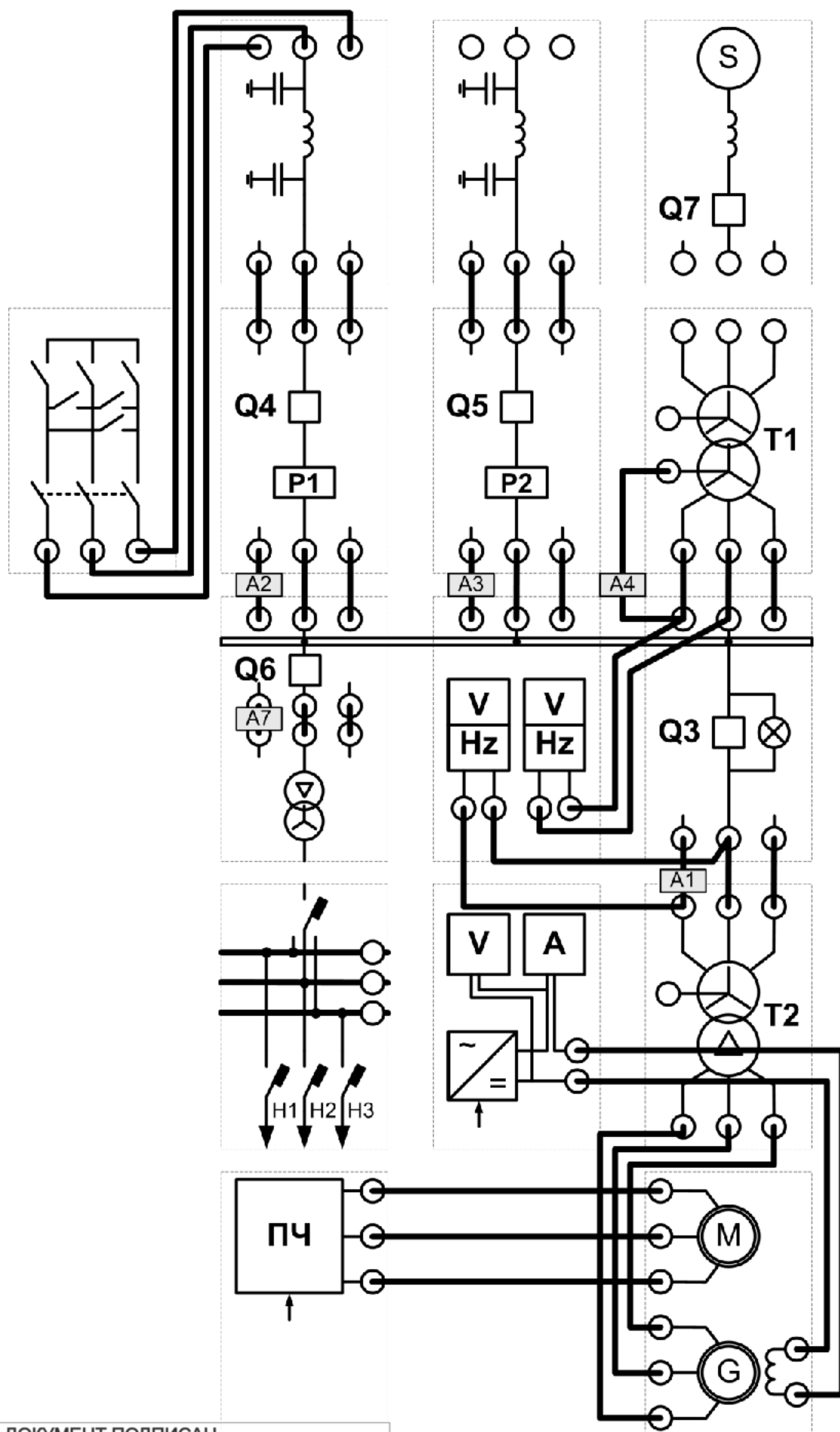
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Схема «Балансирующий узел нагрузкой»



«Узел с генерацией мощности и нагрузкой»

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

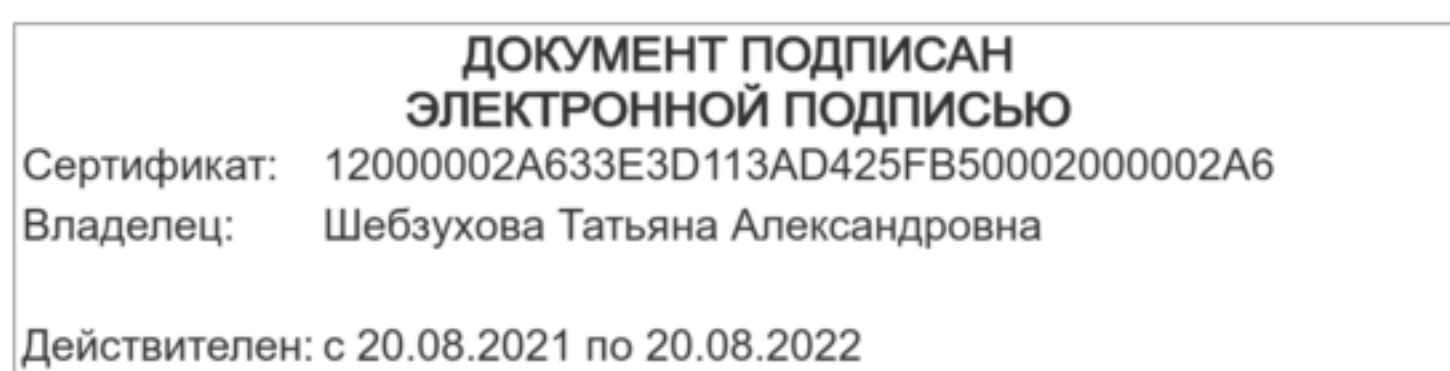
Содержание отчета:

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 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>

5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

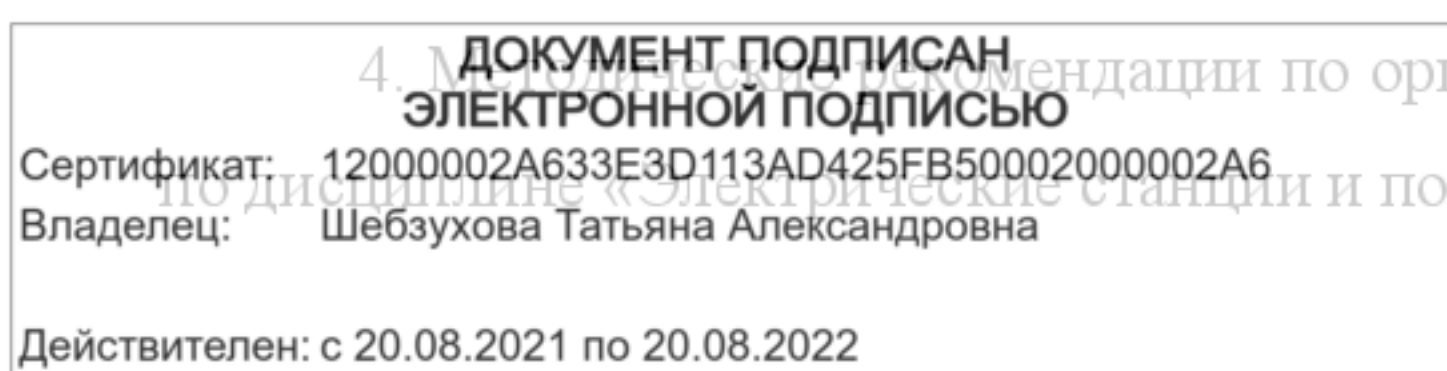
1. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций : учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - 2-е изд. доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. - 149 с. : ил. - Библиогр.: с. 114 - ISBN 978-5-9729-0207-1 ; То же [Электронный ресурс].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

5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

2. Методические рекомендации для подготовки к лабораторным занятиям по дисциплине «Электрические станции и подстанции».

3. Методические рекомендации для выполнения курсового проекта 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

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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.

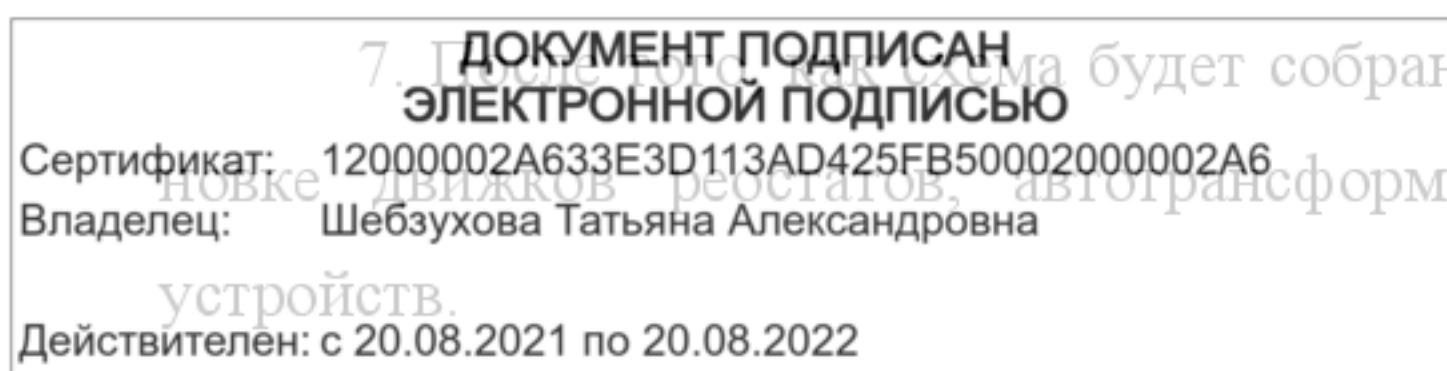
3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

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:

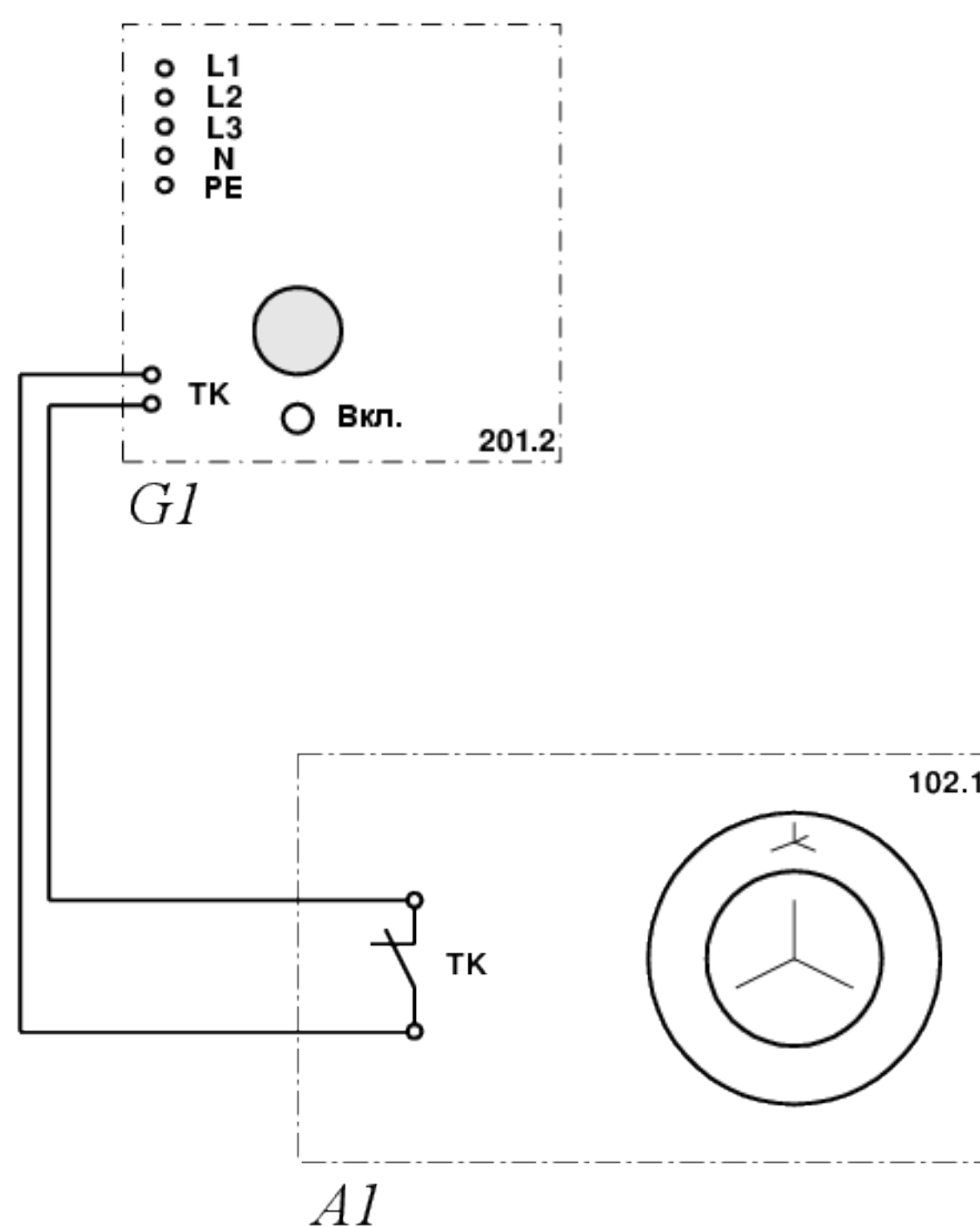
- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от 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 ⁻¹
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~ / 16 А

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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»
направления подготовки
13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск

2022

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

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 Нагрузочная способность проводников	
4.2	Практическая работа №2 Нагрузочная способность трансформаторов	
4.3.	Практическая работа №3 Проверка проводников на термическую стойкость при коротких замыканиях	
4.4	Практическая работа №4 Электродинамические силы в электроустановках.	
4.5	Практическая работа №5 Проверка шинных конструкций на электродинамическую стойкость.	
4.6	Практическая работа №6 Выбор выключателей.	
4.7	Практическая работа №7 Выбор разъединителей.	
4.8	Практическая работа №8 Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжений.	
4.9	Практическая работа №9 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.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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. Нагрузочная способность проводников. Научиться выполнять выбор сечения проводов по экономической плотности тока.	3	
2	Практическая работа № 2. Нагрузочная способность трансформаторов. Приобрести навык теплового расчета трансформатора и оценки работы трансформатора в разные периоды времени.	3	
3	Практическая работа №3. Проверка проводников на термическую стойкость при коротких замыканиях. Приобрести навык проверки проводников на термическую стойкость при КЗ.	3	
4	Практическая работа №4. Электродинамические силы в электроустановках. Анализ и расчет электродинамических нагрузок, действующие на шины.	3	
5	Практическая работа №5. Проверка шинных конструкций на электродинамическую стойкость.	3	

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

6	Практическая работа №6. Выбор выключателей. Приобрести навык расчета и выбора выключателей.	3	
7	Практическая работа № 7. Выбор разъединителей. Приобрести навык расчета и выбора разъединителей.	3	
8	Практическая работа № 8. Выбор измерительных трансформаторов тока и напряжений. Приобрести навык выбора измерительных трансформаторов тока и напряжений.	3	
9	Практическая работа № 9. Выбор токоограничивающих реакторов. Приобрести навык выбора токоограничивающих реакторов.	3	
	Итого за 7 семестр:	27	
	Итого:	27	

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

4. Содержание практических работ

Практическая работа №1. Нагрузочная способность проводников

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

Основы теории:

Выбор проводников по экономической плотности тока. Проводники выбираются по экономической плотности тока $j_{эжн.}$, 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:

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

где $S_{эжн.}$ – экономическое сечение проводника, $мм^2$;

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

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

$I_{эжн.}$ – экономическая плотность тока, $А/мм^2$ (зависит от продолжительности использования максимальной нагрузки $T_{max.}$, 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 $j_{эжн.}$ не выбираются.

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

$$\vartheta \leq \vartheta_{прод. доп.},$$

В ПУЭ установлены следующие продолжительно допустимые температуры проводников, шин и кабелей, $^{\circ}C$:

Проводники и шины 70

Кабели с бумажной изоляцией напряжением, кВ

Менее 3 80

65-75

60

50-55

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН	
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
20,35	
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

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

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

где $I_{раб. нб.}$ – наибольший рабочий ток; $k_{a.n.}$ – 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:

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

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Продолжительно допустимый (или номинальный) ток $I_{\text{прод. доп.}}$, как правило, определяется в результате испытаний, а иногда аналитически на основе теплового расчета проводников в установившемся рабочем режиме. Значения $I_{\text{прод. доп.}}$ 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 $k_{\text{ав.}}$ 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 $I_{\text{прод. доп.}}$ можно проводить на основе теплового расчета проводников в стационарном рабочем режиме. Уравнение теплового баланса шины записывается в виде:

$$I^2 r + Q_c = Q_k + Q_l$$

где I – ток, А; r – активное сопротивление шины, Ом; Q_c – тепловой поток, поглощаемый шиной при солнечной радиации, Вт; Q_k и Q_l – тепловые потоки, обусловленные конвекцией и излучением, Вт.

Активное сопротивление

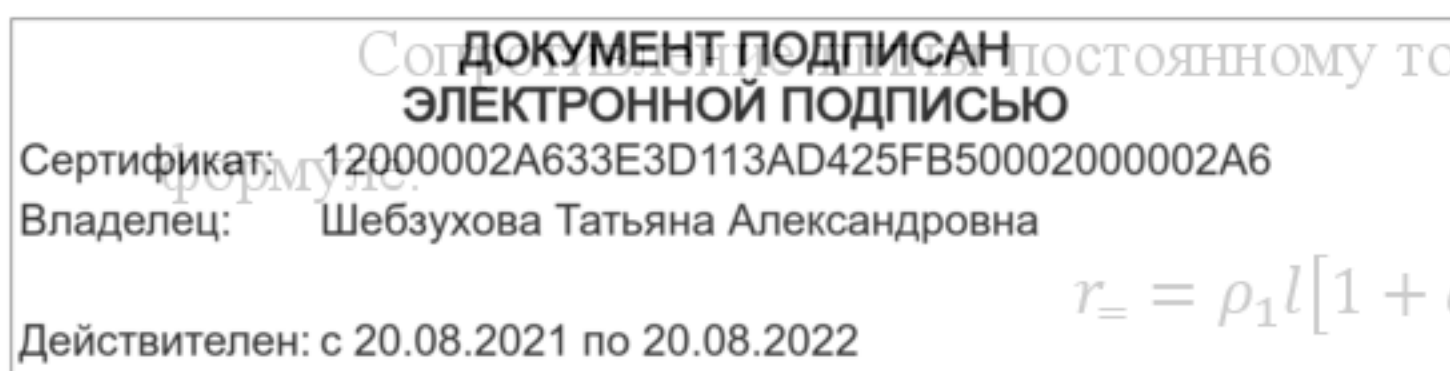
$$r = k_{\partial} r_0,$$

где r_0 – сопротивление шины постоянному току при допустимой температуре продолжительного режима;

k_{∂} – коэффициент добавочных потерь.

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

$$r = \rho_1 l [1 + \alpha_p (\vartheta - \vartheta_1)] / S$$



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

l – длина проводника, м; s – площадь сечения проводника, м² ;

a_p – температурный коэффициент электрического сопротивления, 1/°С; ϑ – температура, °С.

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

Коэффициент добавочных потерь:

$$k_d = k_n k_b,$$

где k_n , k_b – коэффициенты соответственно поверхностного эффекта и эффекта близости.

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

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

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 $k_b \approx 1$ и $k_d \approx k_n$.

Для многополосных шин (рисунок 1.1) k_d 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

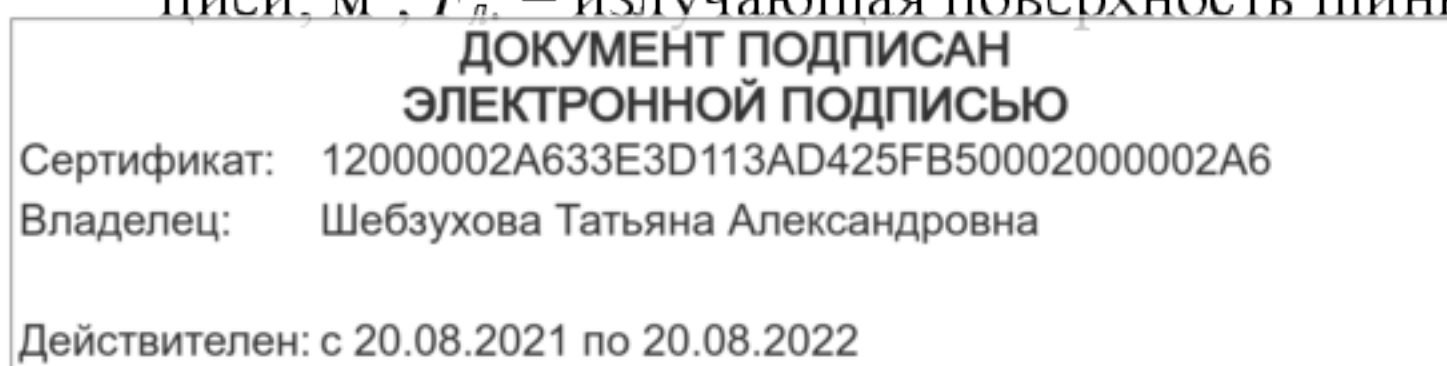
N – число полос в пакете; b – толщина полосы.

Тепловые потоки от шины конвекцией Q_k и излучением Q_l составляют соответственно:

$$Q_k = q_k \cdot F_k;$$

$$Q_l = q_l \cdot F_l,$$

где q_k и q_l – удельная теплоотдача (удельный тепловой поток) соответственно конвекцией и излучением, Вт/м; F_k – поверхность шины, участвующая в теплоотдаче конвекцией, м²; F_l – излучающая поверхность шины, м².



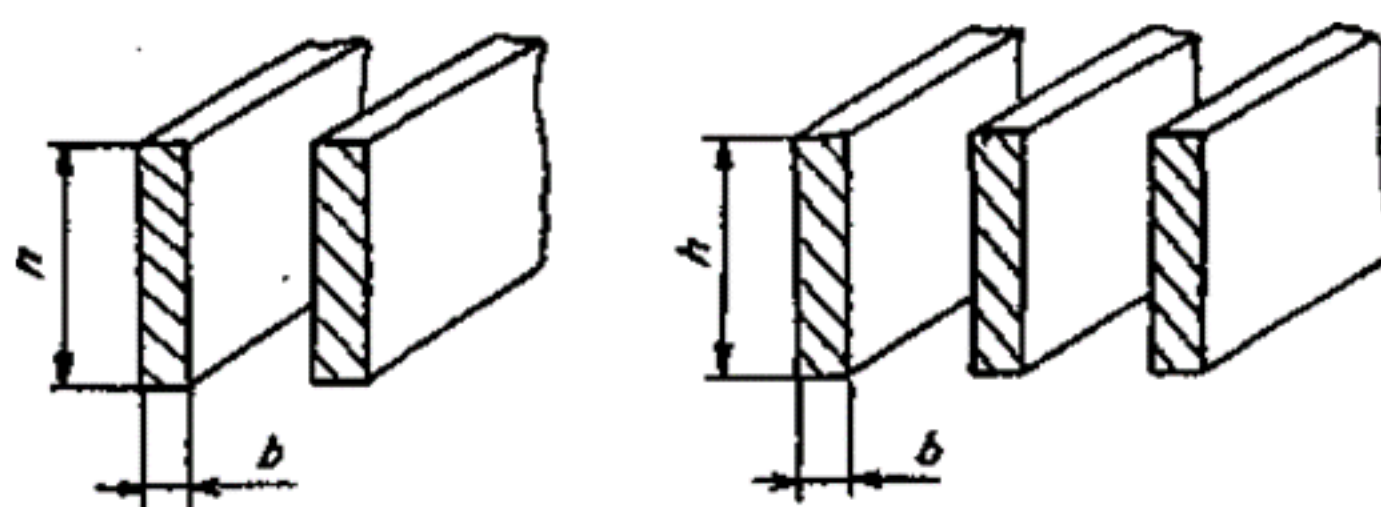


Рисунок 1.1 – Многополюсные шины

Удельный тепловой поток конвекцией рассчитывается по формуле:

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

где α_{κ} – коэффициент теплоотдачи при конвекции, Вт/м²; $\vartheta_{\text{в}}$ – температур воздуха, °С.

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

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

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

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

$\lambda_{\text{в.}}$ – 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 $\nu_{\text{в.}}$ зависит от температуры, а $\lambda_{\text{в.}}$, кроме того – от давления воздуха. При температуре воздуха, близкой к 25 °С, и нормальном атмосферном давлении удельный тепловой поток конвекцией можно вычислить по формуле:

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

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	высоте L	0,695	1,97

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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:

$$q_k = B_0(\vartheta - \vartheta_B)^{1.25} L^{-0.25}$$

где $B_0 = 1,61 \text{ Вт/(м}^{0,75} \cdot \text{°C}^{1,3})$; 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:

$$q_k = C / L^{1/4}$$

Значения C , $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1,75}$ 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, $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1,75}$

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

Для составных проводников теплоотдачу конвекцией с внутренней поверхности

приближенно определяют по формуле (1.15), умножив результат на коэффициент 0,7 от теплоотдачи с наружной поверхности.

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

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$q_n = \varepsilon \cdot c \cdot (T^4 - T_{\text{в}}^4),$$

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

$$Q_{\text{с}} \approx a_{\text{с}} \cdot L \cdot q_{\text{с}}.$$

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

Тепловой расчет удобно проводить на 1 м длины шины.

Таблица 1.3 – Коэффициенты излучения поверхности шины

Материал шины или цвет краски	Значения коэффициентов	
	ε	$a_{\text{с}}$
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

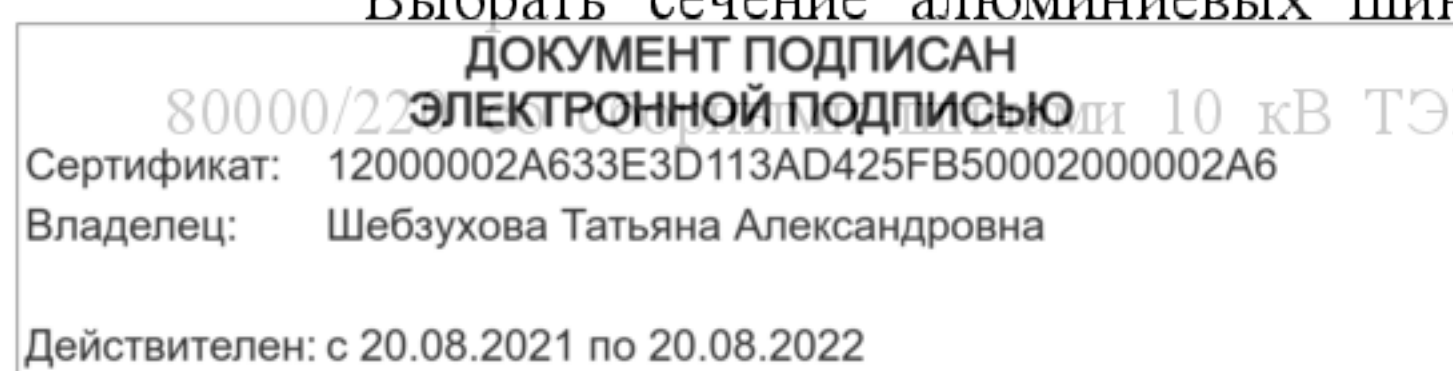
Определить допустимый ток продолжительного режима однополосных и двухполосных шин (см. рисунок 1.1а) ЗРУ, расположенных на ребро и плашмя. Шины изготовлены из алюминия марки АД0 и окрашены эмалевой краской. Размер одной полосы шины 60х8 мм.

Задание №2

Выбрать сечение алюминиевых шин открытого (неэкранированного) участка токопровода в цепи генератора типа ТВФ-110-2ЕУЗ (рисунок 1.2). Номинальные данные генератора: $P_{\text{ном}}=110$ МВт; $U_{\text{ном}}=10,5$ кВ; $\cos\varphi_{\text{ном}}=0,8$. 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-10/10 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 $T_{max.} = 6300$ 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 $T_{max.} = 7500$ ч. Максимальная температура воздуха в распределительном устройстве 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 $P_{max.} = 8$ МВт, пункта РП 2 – $P_{max.} = 3$ МВт; коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi = 0,9$. Кабели проложены в земле, температура почвы 15 °С. Суточные графики нагрузки распределительных пунктов представлены на рисунке 1.6

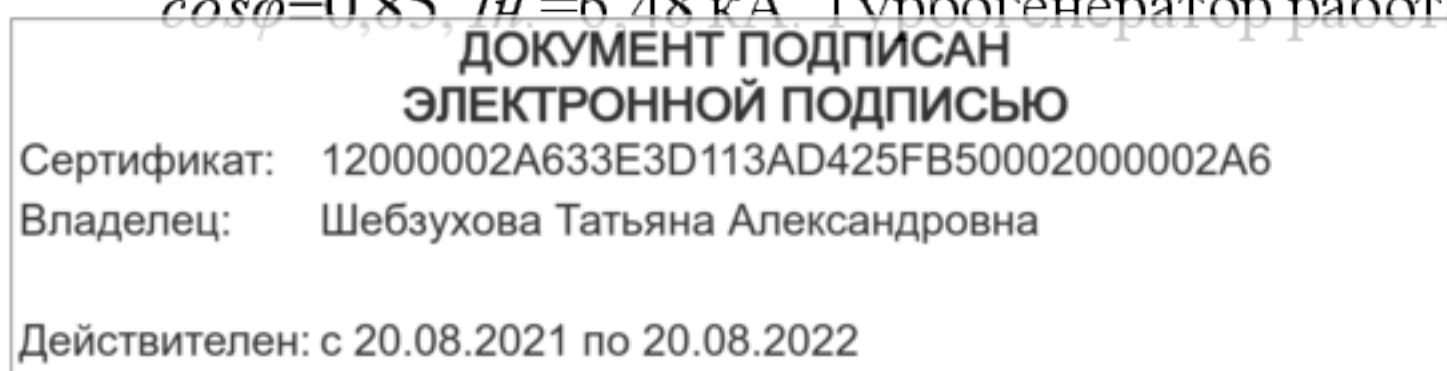
Задание №6

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: $P_n = 100$ МВт, $U_n = 10,5$ кВ, $\cos\varphi = 0,85$, $I_n = 6,48$ кА. Турбогенератор работает с номинальной нагрузкой 7 месяцев в году,



а) оставшее время несет нагрузку 0,6 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 80x8 мм² 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 мм² 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_k	Q_l	Q_c	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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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

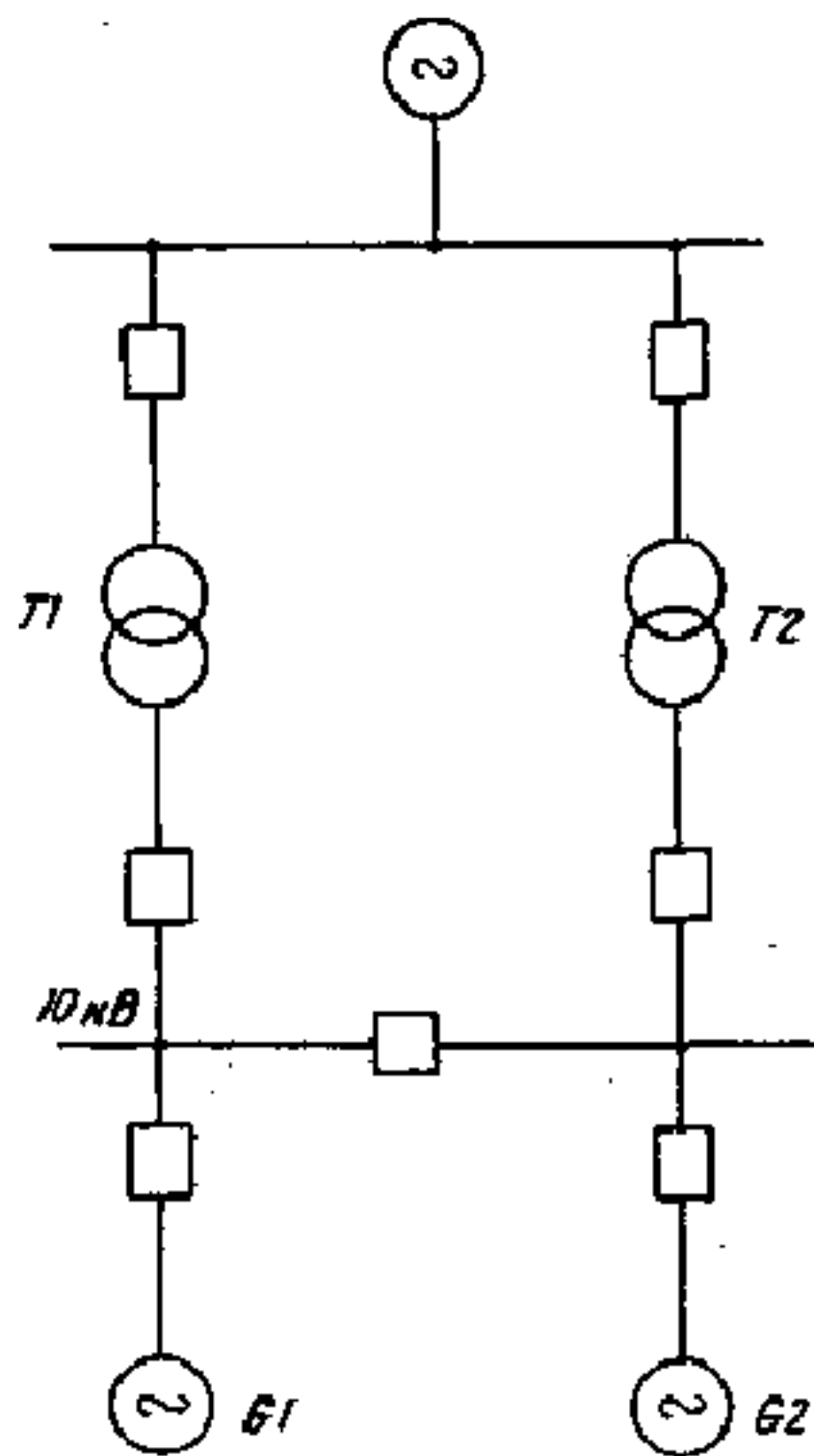
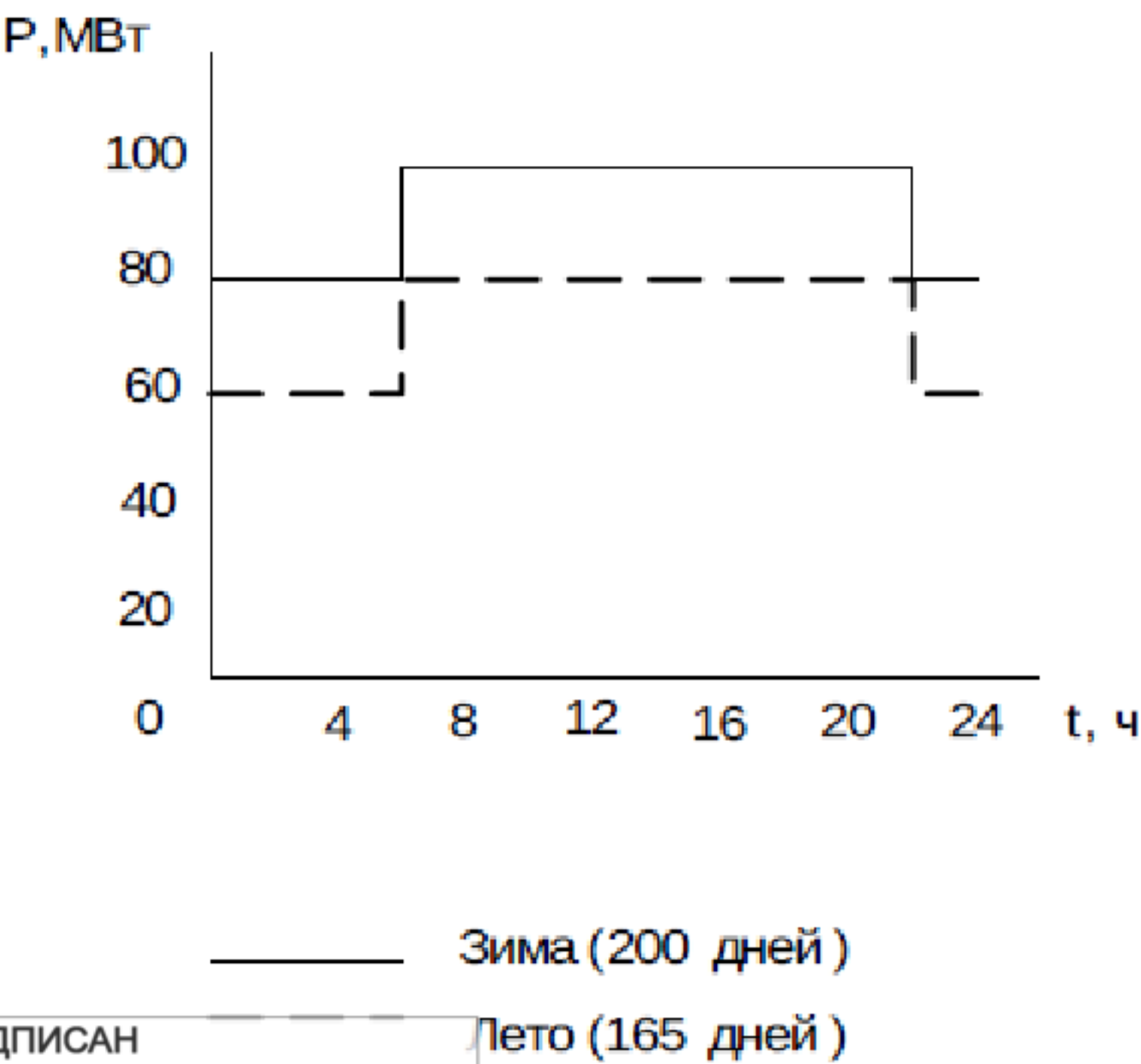


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема ТЭЦ



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 1.3 – Суточные графики нагрузки генератора

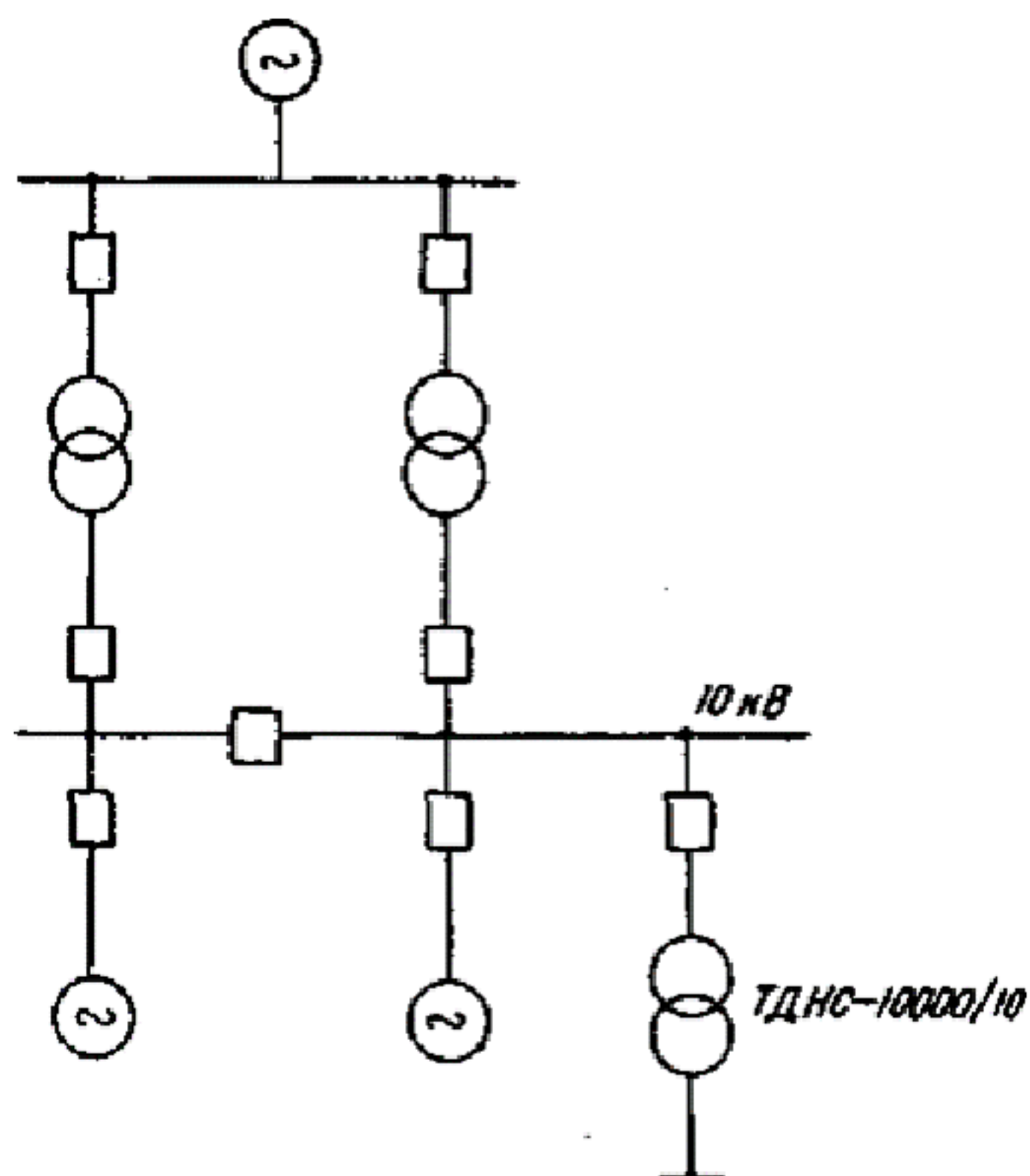
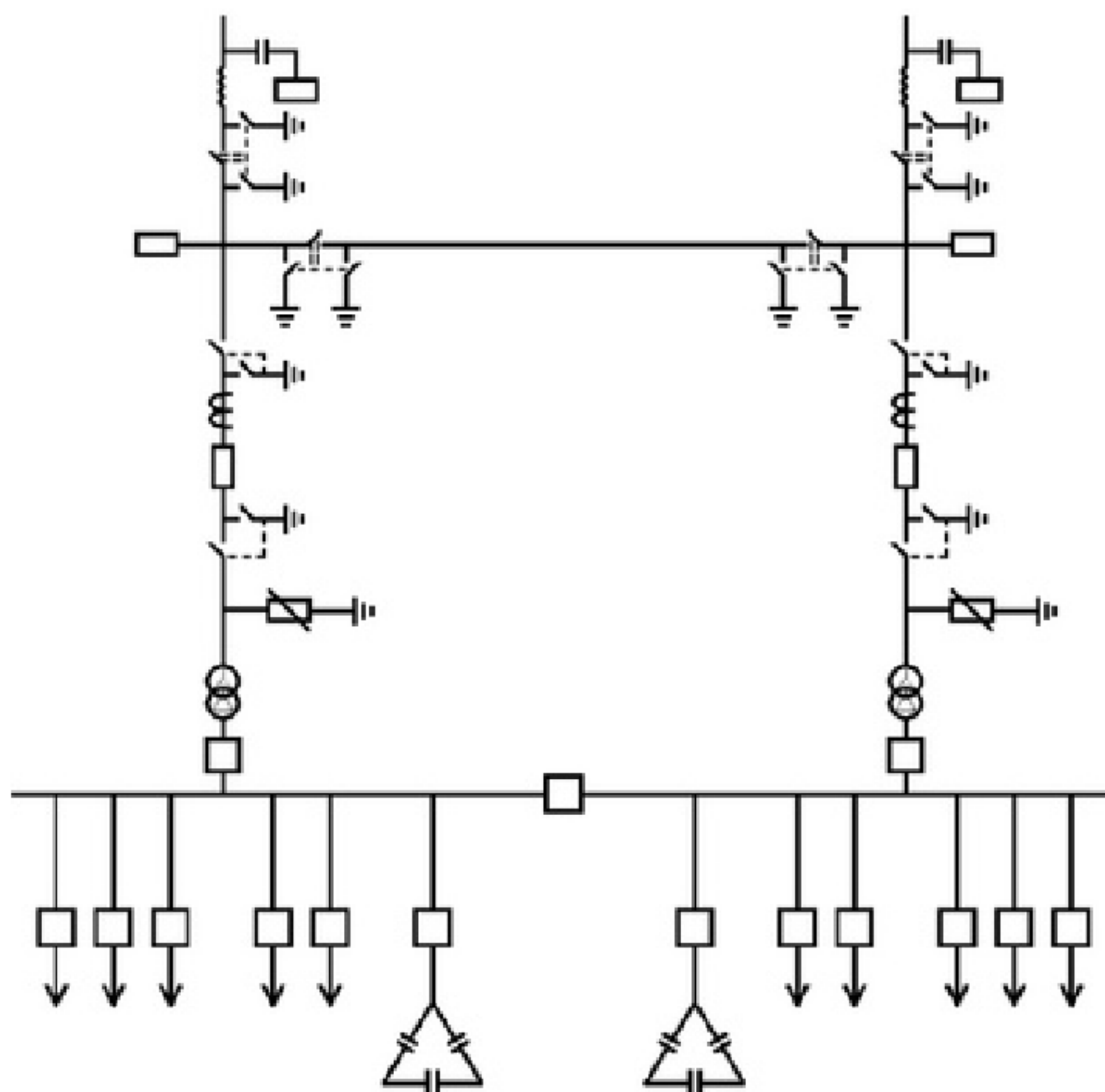


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема ТЭС с трансформатором СН



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

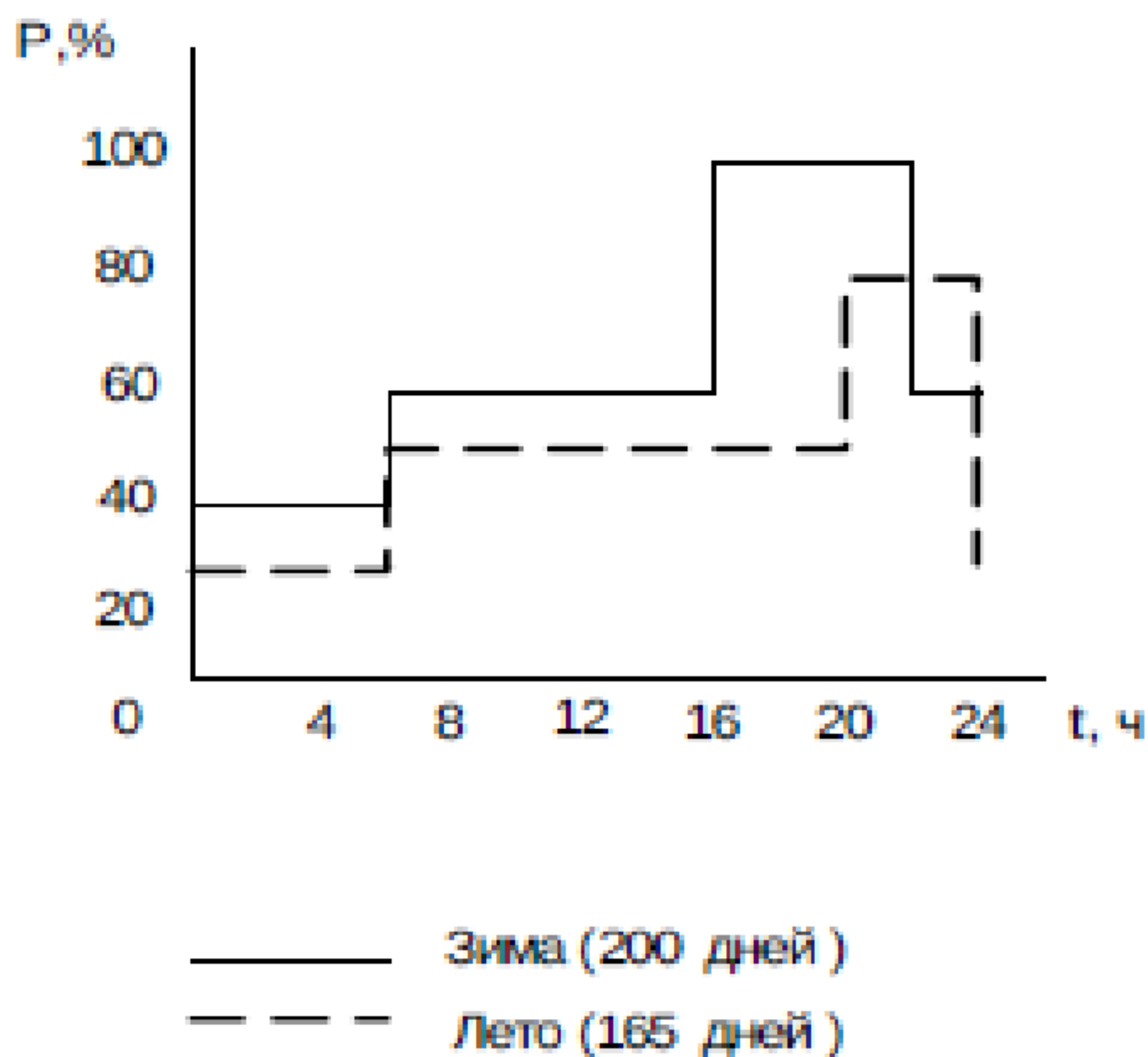


Рисунок 1.6 – Суточные графики нагрузки распределительных пунктов

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. Нагрузочная способность трансформаторов

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

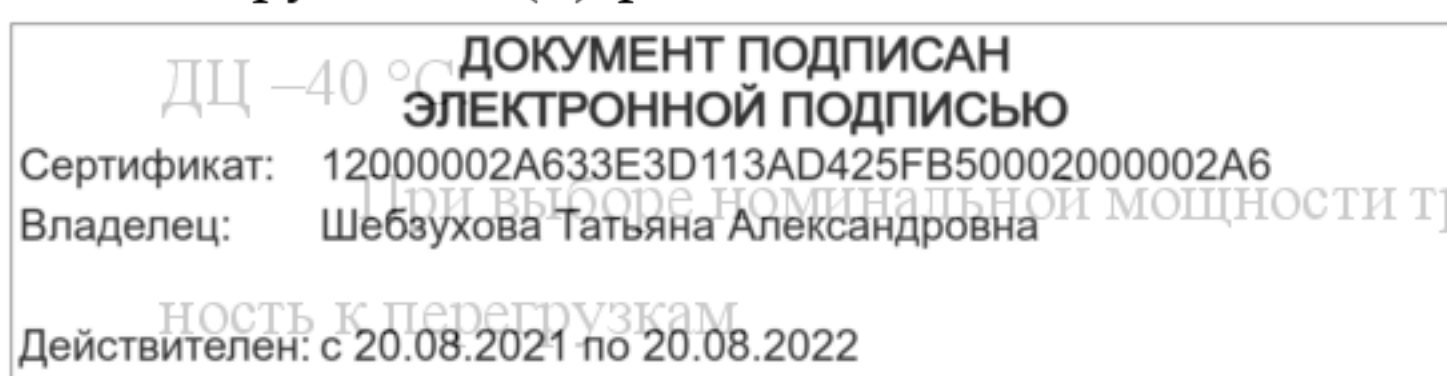
Основы теории:

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 $98\text{ }^{\circ}\text{C}$. Следовательно, трансформатор будет иметь нормальный срок службы в том случае, если температура в наиболее нагретой точке его обмоток будет неизменна и равна $98\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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 T , 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 $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для верхних слоев масла нормированное превышение температуры при номинальной нагрузке $\Theta_m(n)$ равно: для систем охлаждения М и Д – $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, для систем охлаждения Ц и



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 $k_1 = S_1 / S_N$ до $k_2 = S_2 / S_N$ (S_N – номинальная мощность трансформатора).

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

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

где Θ_1 – превышение температуры масла, соответствующее коэффициенту начальной нагрузки k_1 ,

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

Θ_2 – превышение температуры масла, соответствующее коэффициенту нагрузки k_2 ,

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

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

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

где $\Delta\Theta_{об.(n)}$ – суммарный перепад температуры между наиболее нагретой точкой изоляции и температурой масла при номинальной нагрузке. Значения $\Delta\Theta_{об.(n)}$ и m

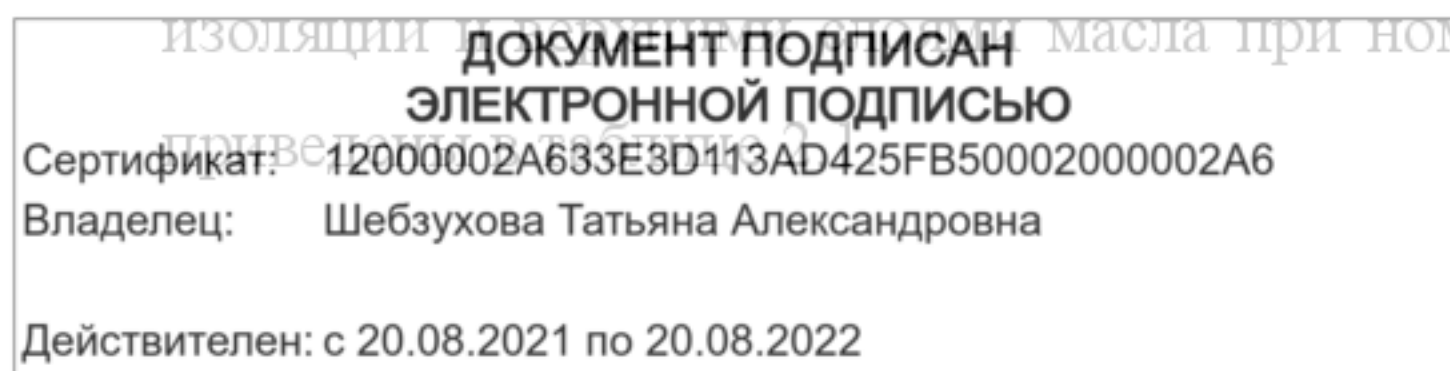


Таблица 2.1 – Значения $\Delta\Theta_{об.}(н.)$ и m

Система охлаждения	М	Д	Ц, ДЦ
$\Delta\Theta_{об.}(н.), ^\circ\text{C}$	23	23	38
m	0,8	0,9	1

Температуры масла и обмоток определяют добавлением температуры охлаждающей среды ϑ_0 :

$$\vartheta_m = \Theta_m + \vartheta_0$$

$$\vartheta_{об} = \Theta_{об} + \vartheta_0$$

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°C).

Относительный износ изоляции $\dot{L}$ рассчитывается в соответствии с шестиградусным правилом: при изменении температуры обмотки на 6°C срок службы трансформатора изменяется в два раза:

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

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°C . 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 предшествующей 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

неизменной длительности допустимой мощности. Кривые построены для различных продол-

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

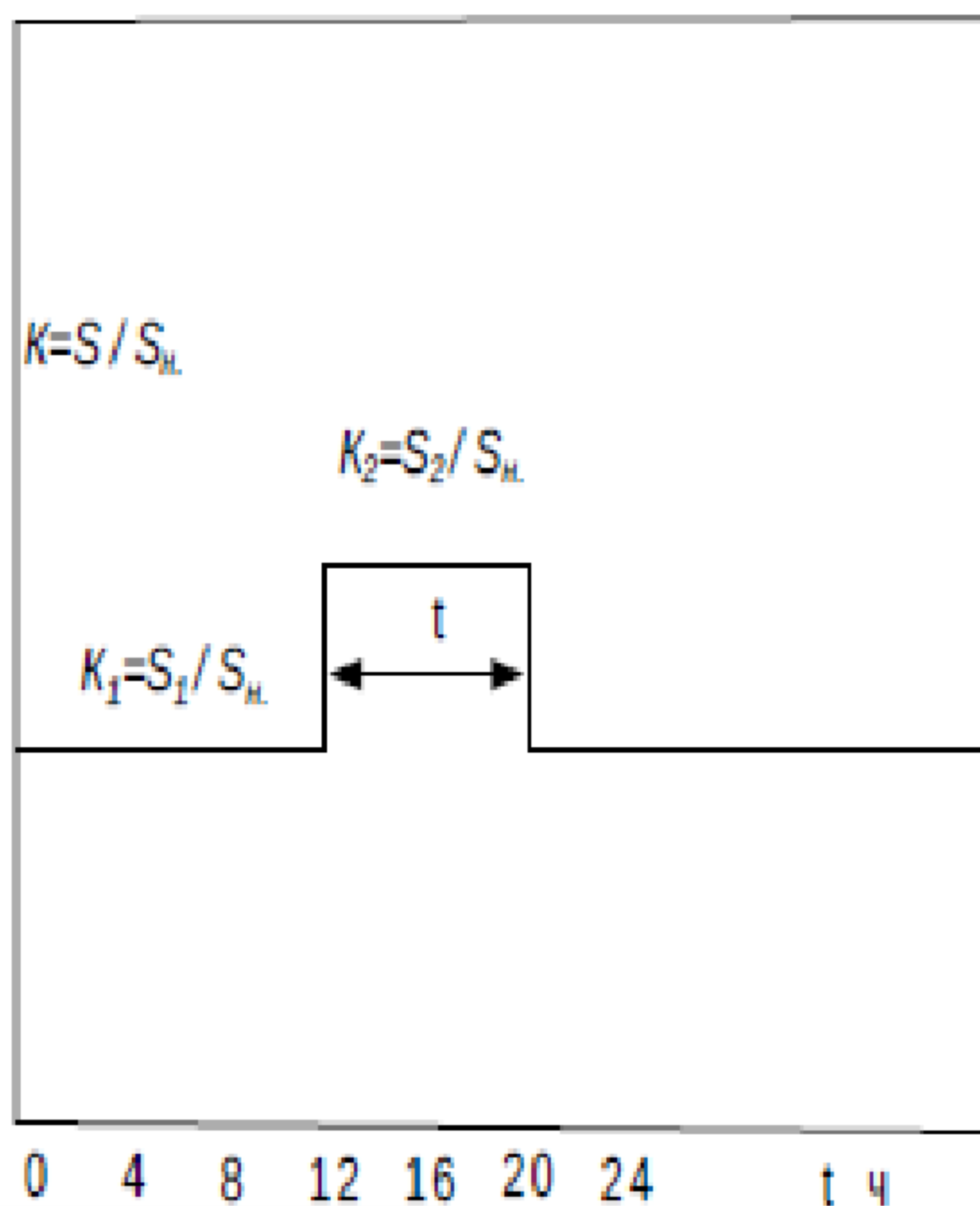
В случае двухступенчатого рабочего графика нагрузки порядок определения допустимой перегрузки трансформатора по кривым нагрузочной способности следующий:

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

$$k_2 = S_2 / S_n;$$

2) Определяется коэффициент начальной нагрузки:

$$k_1 = S_1 / S_n;$$



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

двухступенчатый график нагрузки трансформатора

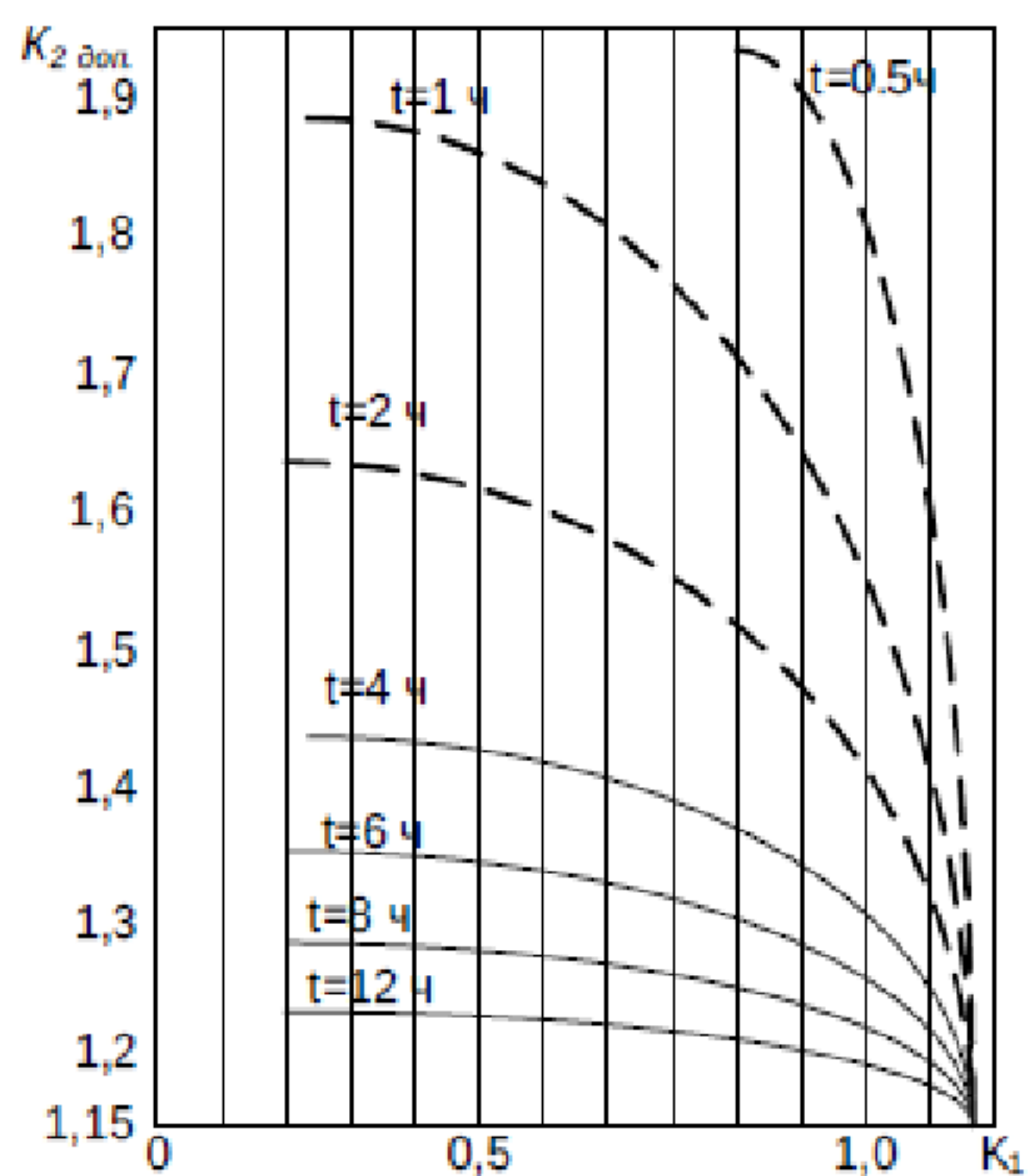


Рисунок 2.2 – График нагрузочной способности трансформаторов с системой охлаждения Д при $\tau=2,5$ ч и $\theta=0$ °C

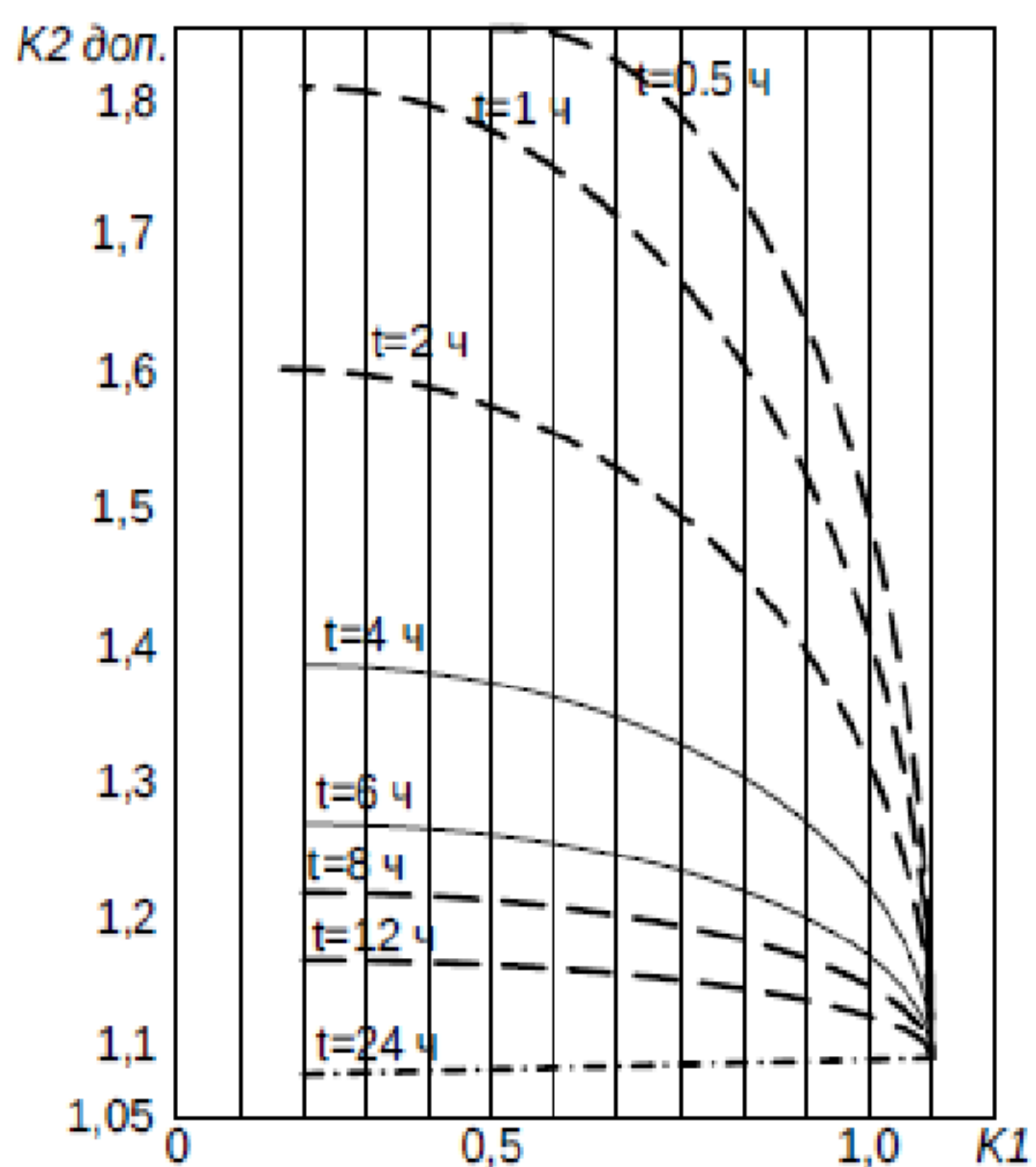


Рисунок 2.4 – График нагрузочной способности трансформаторов с системой охлаждения Д при $\tau=2,5$ ч и $\theta=+20$ °C

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 $k_{2\text{доп.}}$;

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

Если суточный график многоступенчатый, то его предварительно преобразуют в эквивалентный двухступенчатый график 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):

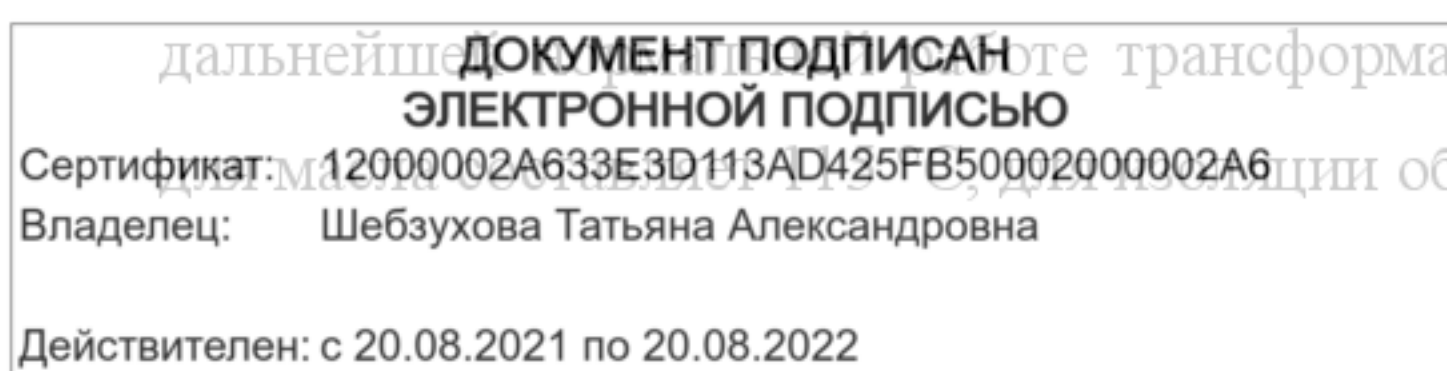
$$S_{2э} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n2} S_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^{n2} t_i}}$$

где S_i – нагрузка i -й ступени; t_i – время i -й ступени; $n1$ – 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 $S_{1э}$. Расчет $S_{1э}$ 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 эксплуатации трансформатора. Максимально допустимая температура 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 k_1 не должен быть более 0,93.

Допустимую аварийную перегрузку $k_{2доп}=1,4$ 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.

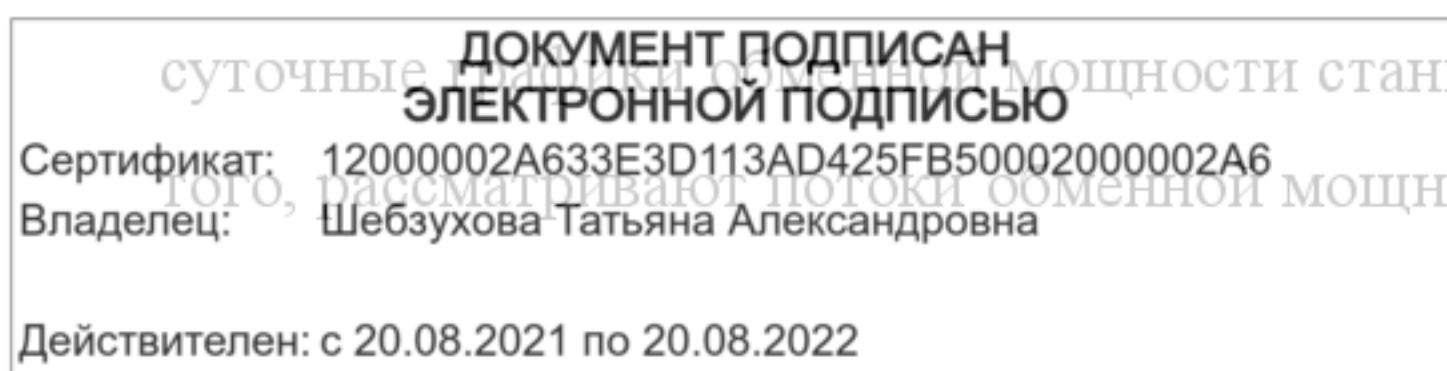
При установке на подстанции двух трансформаторов выбор их номинальной мощности осуществляют с учетом возможности аварийной перегрузки при повреждении и одном из трансформаторов. В нормальном режиме оба трансформатора работают с заметной недогрузкой.

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 редуционно–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

Документ подписан Электронной подписью	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Трансформаторы для работы 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.

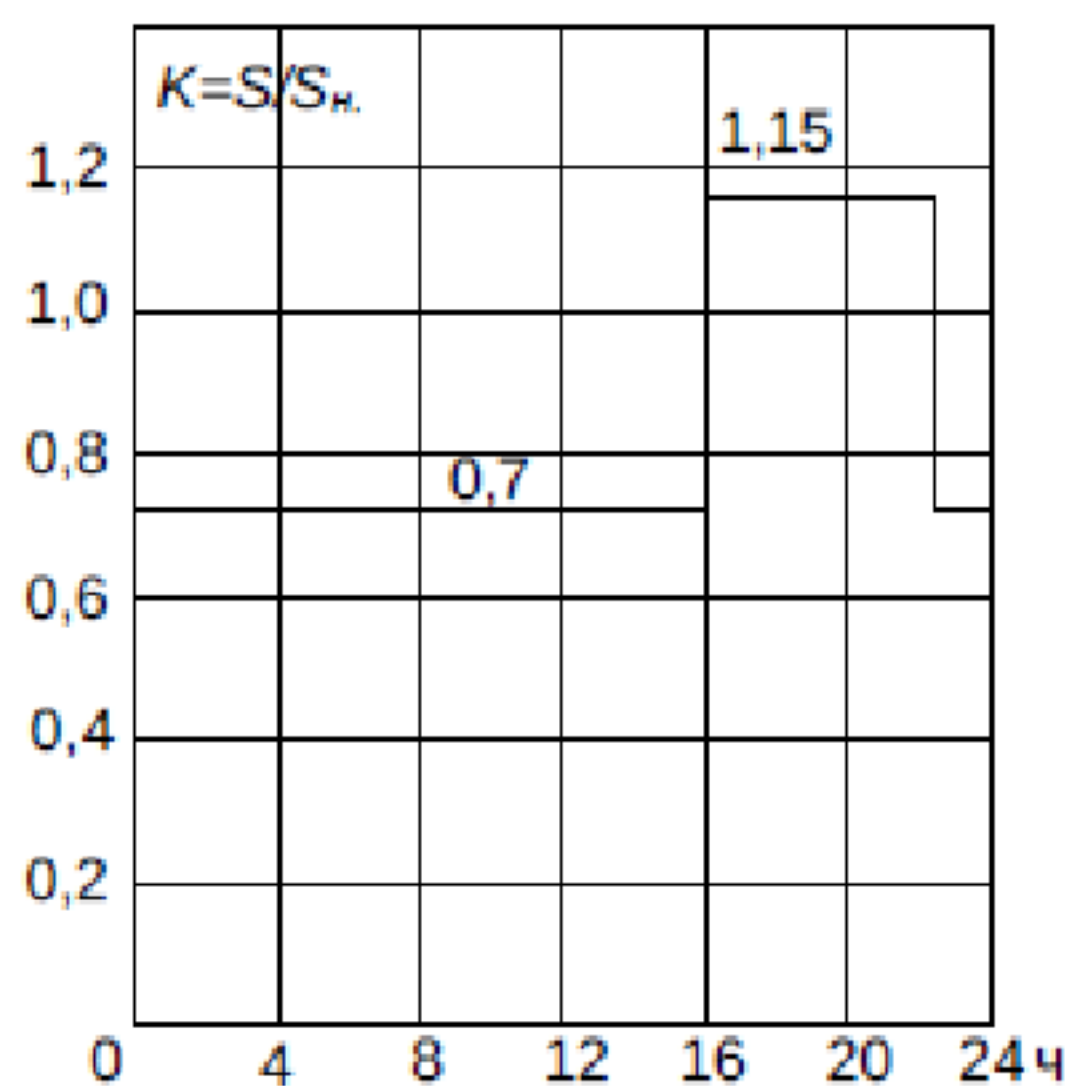


Рисунок 2.6 – Двухступенчатый график

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.

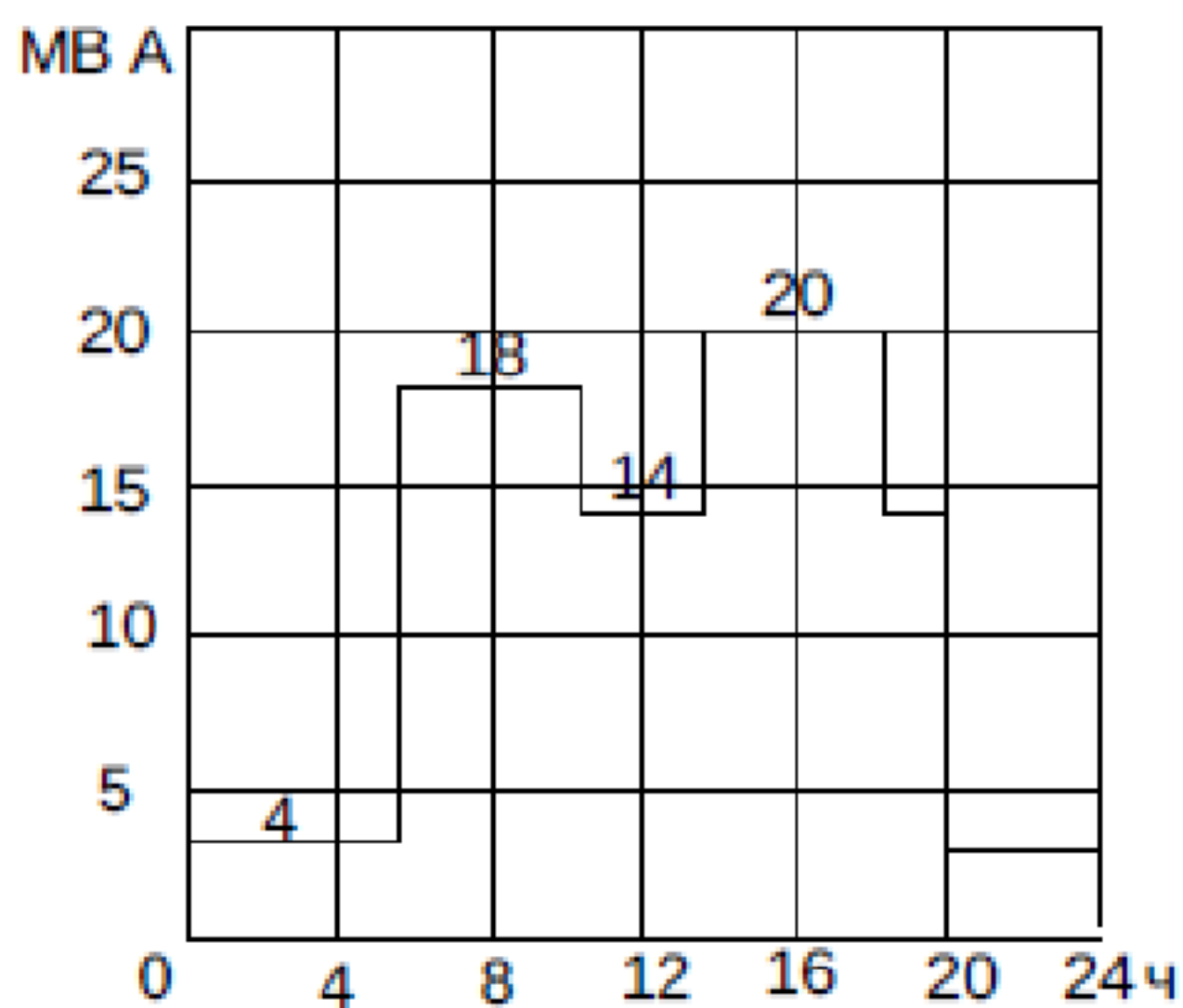


Рисунок 2.7 – Суточный график нагрузки

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).

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Задание №4

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

Задание №5

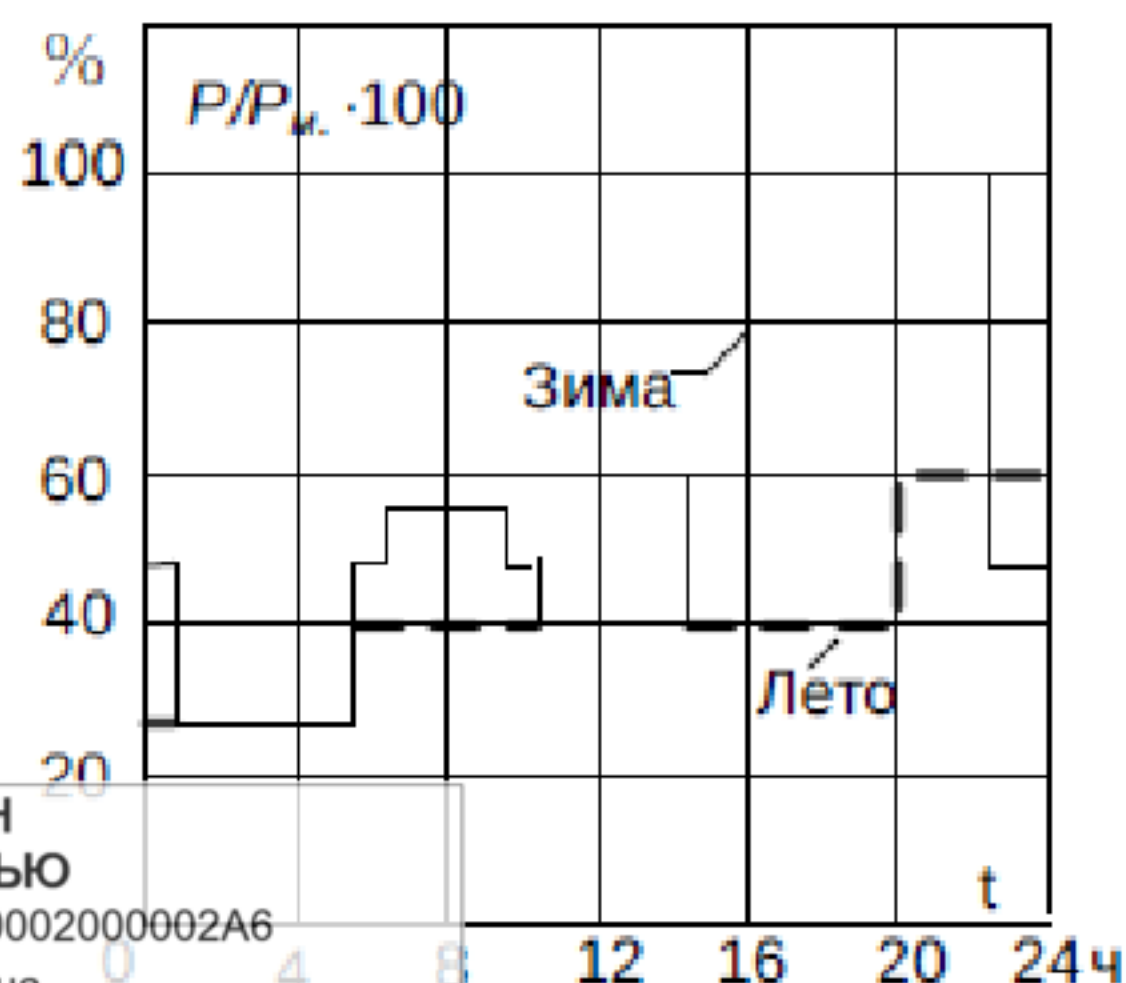
Определить номинальную мощность трехфазного автотрансформатора, а также ее составляющие: мощности, передаваемые электрическим и электромагнитным путями, если $U_{1н.} = 220$ кВ; $U_{2н.} = 121$ кВ и $I_{1н.} = 328$ А.

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 нейтральями. 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 $\cos\varphi = 0,92$. Эквивалентная температура воздуха: зимой 0 °С, летом +10 °С. Суточные графики нагрузок в зимний и летний периоды года приведены на рисунке 2.8.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 $\cos\varphi=0,9$, сети НН–11 500 кВт при том же $\cos\varphi$. Эквивалентная температура воздуха +20 °С летом и +5 °С зимой. Суточные графики нагрузок сетей СН и НН приведены на рисунке 2.9.

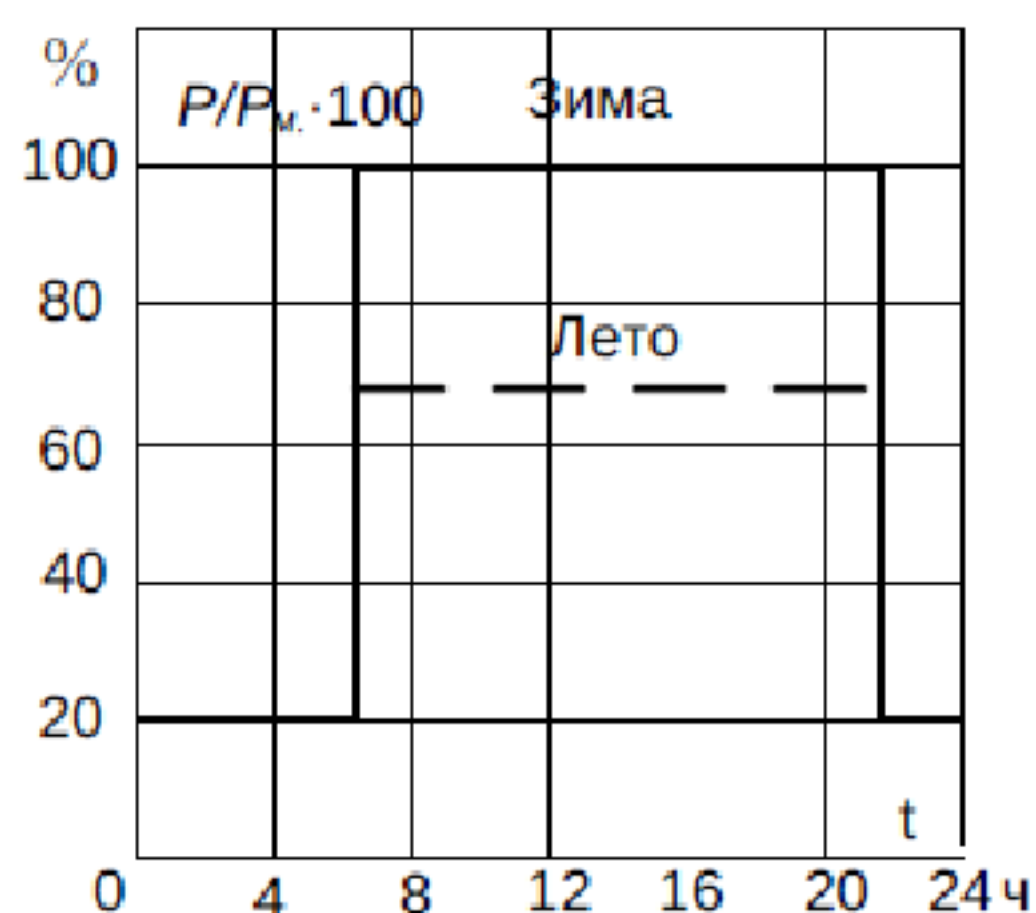


Рисунок 2.9 – Суточные графики нагрузок сетей СН и НН

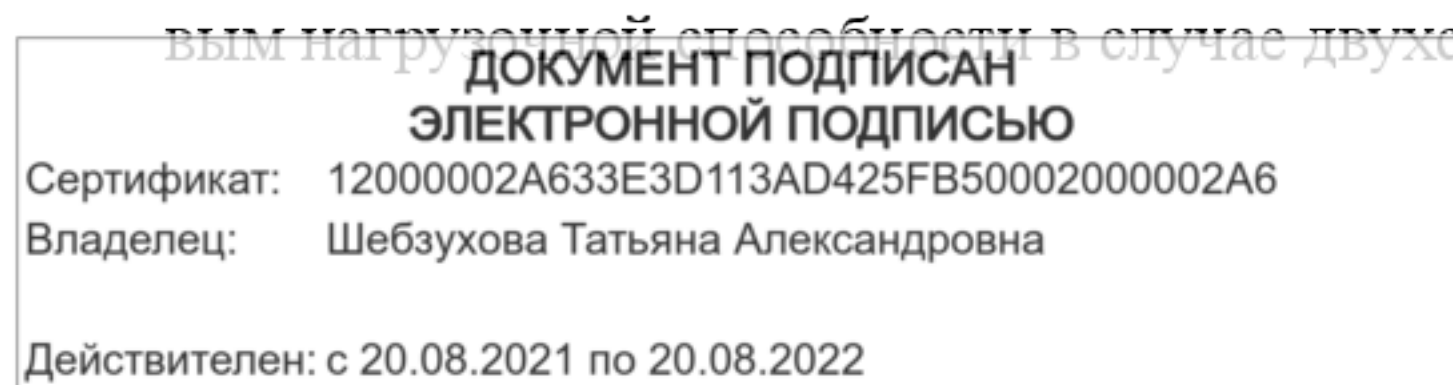
Задание №9

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

Максимальная нагрузка длится 5 ч и составляет: на стороне СН–10 МВт при $\cos\varphi = 0,8$, на стороне НН–25 МВт при $\cos\varphi = 0,9$. 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. 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:

$$W_{\text{к.}} = \int_0^{t_{\text{откл}}} i_{\text{кт}}^2 dt.$$

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

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

$$W_{\text{к.}} = W_{\text{к.п.}} + W_{\text{к.а.}}$$

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. При этом интеграл Джоуля определяется по формуле:

$$W_{\text{к.}} = I_{\text{н.с.}}^2 [t_{\text{откл.}} + T_{\text{а.г.}} (1 - \exp(-2t_{\text{откл.}}/T_{\text{а.эк.}}))],$$

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

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН	
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

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 $t_{откл} \geq 3Ta_{эк}$, эк интеграл Джоуля можно определять по более простой формуле:

$$B_{к.} \approx I_{н.с.}(t_{откл.} + Ta_{эк.}) .$$

Если исходная расчетная схема содержит один или несколько одностипных 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

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

где $I_{н.о.г.}$ – 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,

$$B_{к.г.} = \frac{\int_0^{t_{откл.}} I_{н.т.г.}^2 dt}{I_{п.о.г.}^2 t_{откл.}},$$

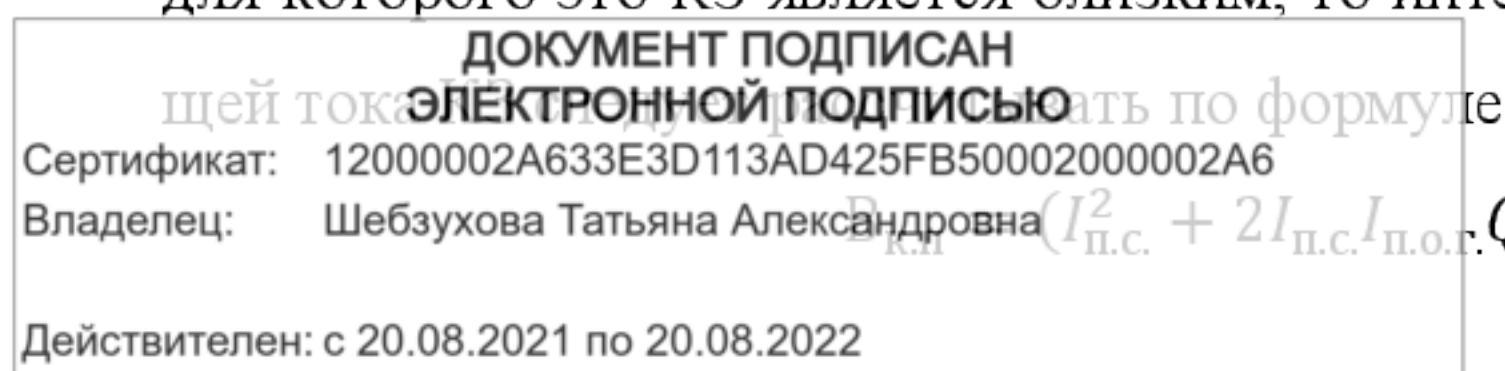
где $I_{н.т.г.}$ – действующее значение периодической составляющей тока КЗ от генератора (синхронного компенсатора) в произвольный момент времени, А.

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

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

$$B_{к.} = I_{п.о.г.}^2 (B_{к.г.} t_{откл.} + T_{а.г.})$$

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 составля-



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

где $I_{н.с.}$ – 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,

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

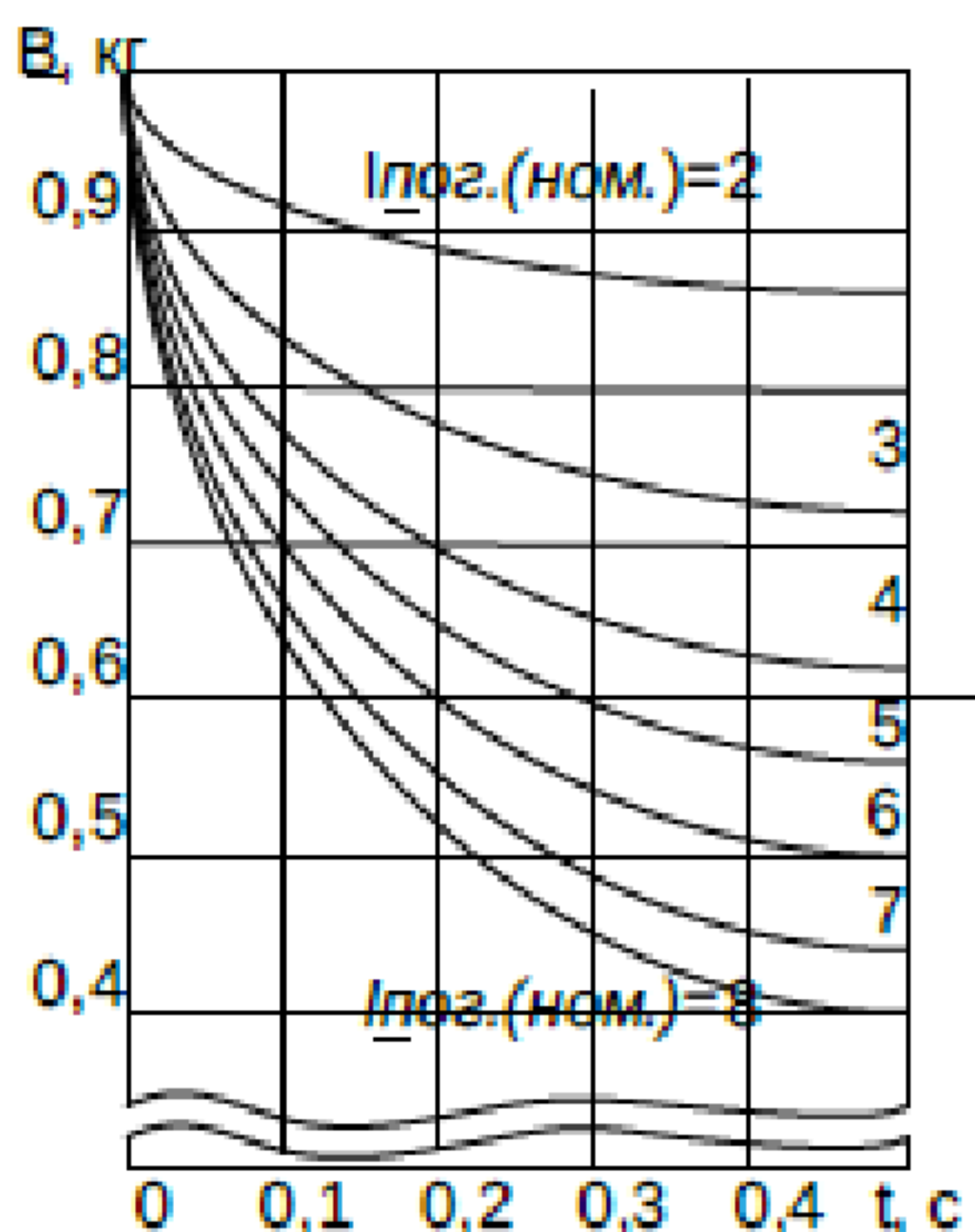


Рисунок 3.1 – Кривые для определения $V_{к.г.}$ от синхронных генераторов с тиристорной системой возбуждения

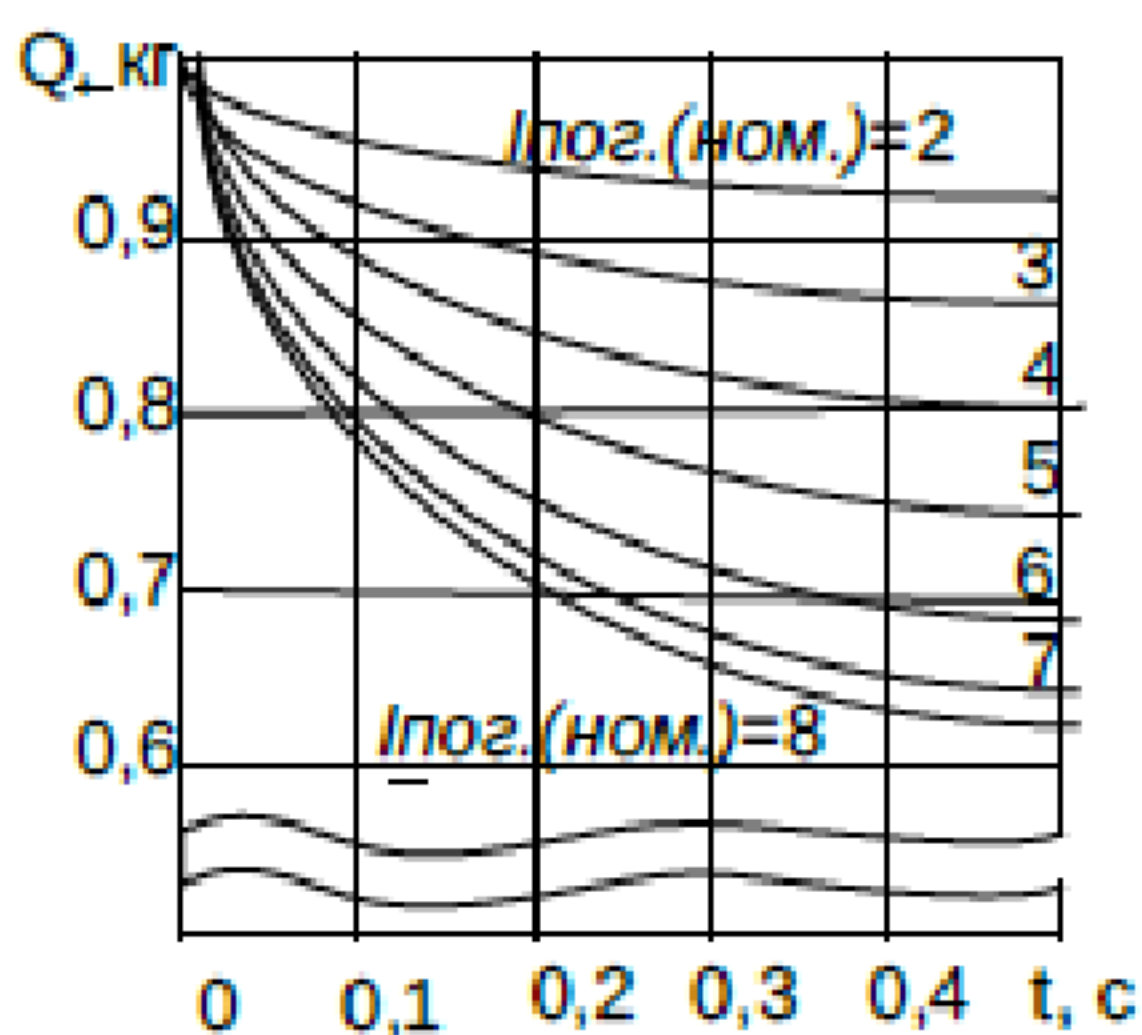


Рисунок 3.2 – Кривые для определения $Q_{к.г.}$ от синхронных генераторов с тиристор-

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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

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

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 $I_{п.о.д.}$ и $T_{а.д.}$ 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 $B_{тер.}$. Электрический аппарат удовлетворяет условию термической стойкости, если выполняется условие:

$$B_{к.} \leq B_{тер.}$$

Допустимое значение интеграла Джоуля зависит от соотношения между расчетной продолжительностью КЗ $t_{откл.}$ и предельно допустимым временем воздействия нормированного тока термической стойкости $t_{тер. норм.}$, указываемым заводом-изготовителем аппарата. Если $t_{откл.} \geq t_{тер. норм.}$, то

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

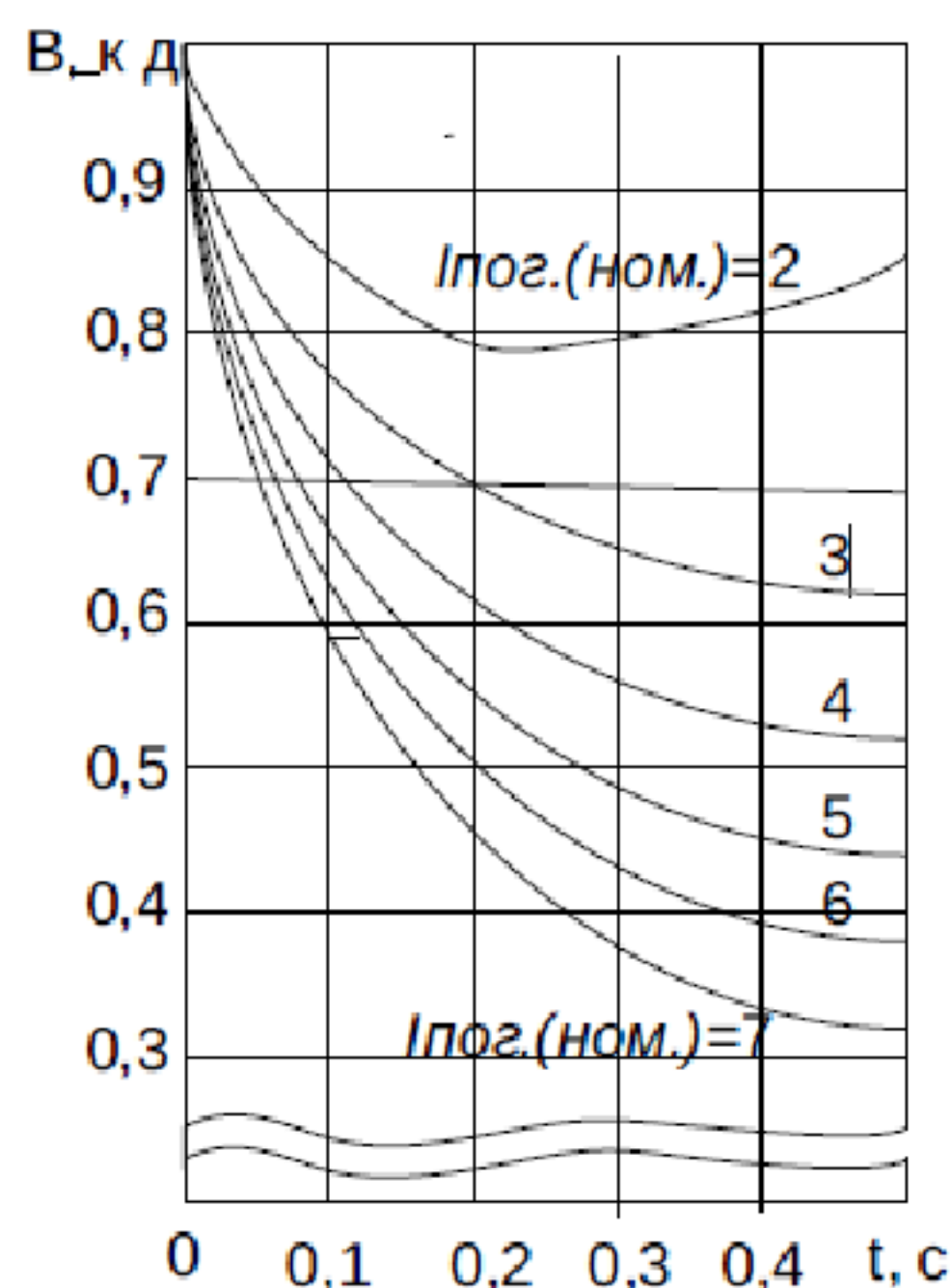


Рисунок 3.3 – Кривые для определения от $V_{к.д.}$ синхронного электродвигателя

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.

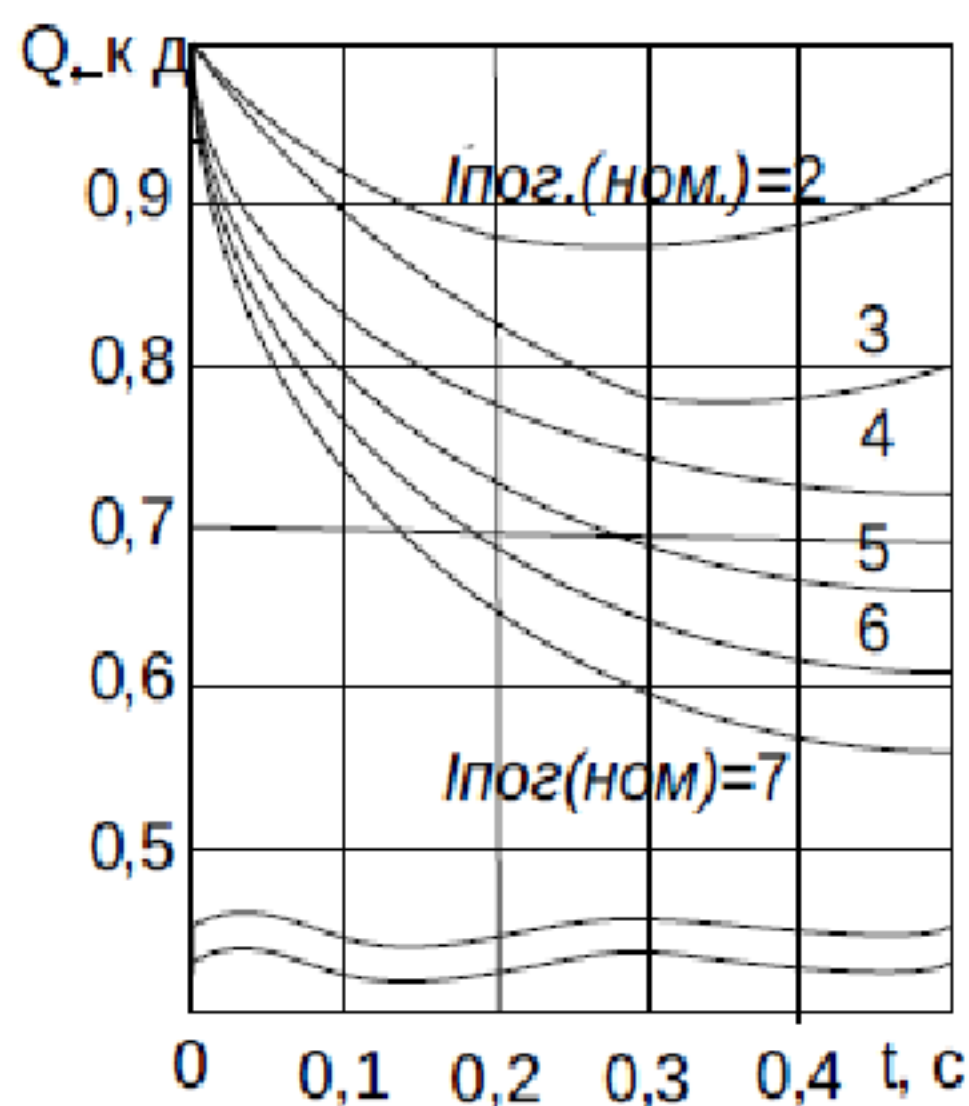


Рисунок 3.4 – Кривые для определения $Q_{к.д.}$ синхронного электродвигателя

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:

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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

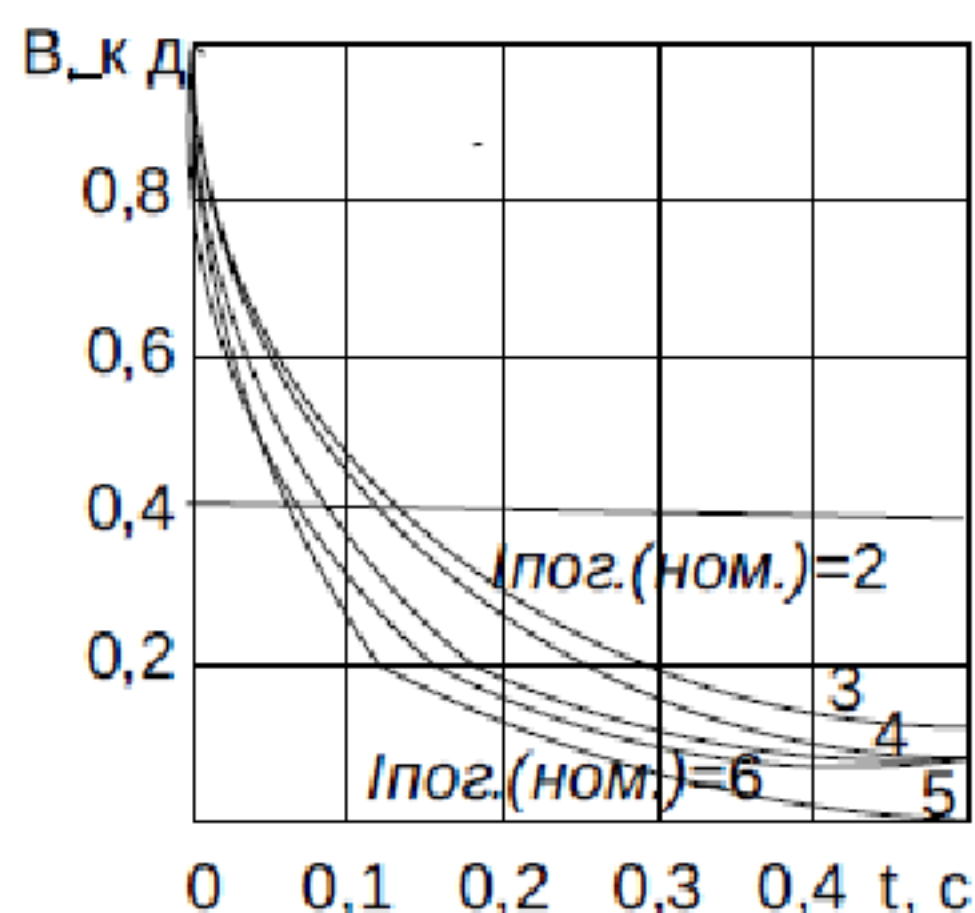


Рисунок 3.5 – Кривые для определения $V_{к.д.}$ от асинхронного электродвигателя

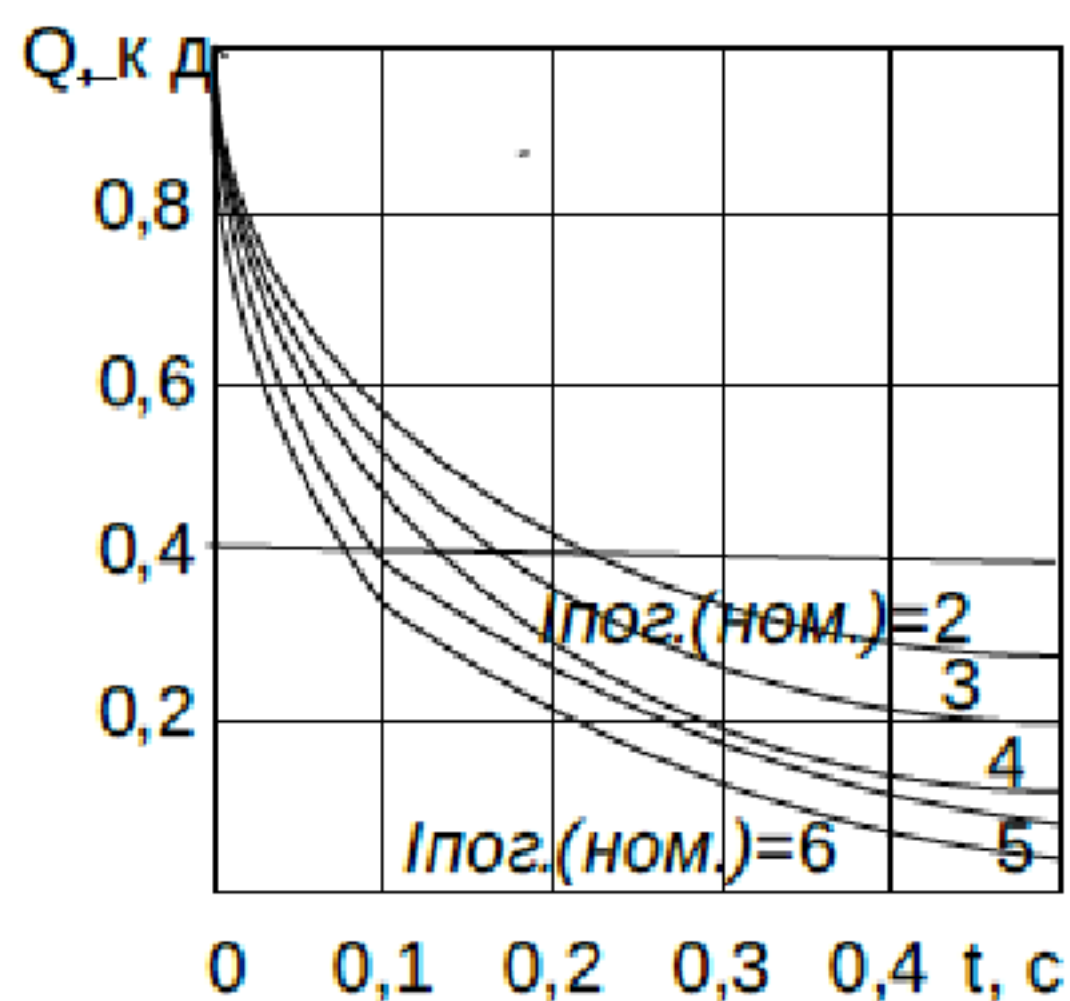


Рисунок 3.6 – Кривые для определения $Q_{к.д.}$ от асинхронного электродвигателя

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 $A_{л.доп.}$, соответствующее предельно допустимой температуре нагрева

проводника. По этой кривой, исходя из начальной температуры проводника ϑ_i , определяют минимальное сечение проводника, при котором обеспечится его термическая стойкость.

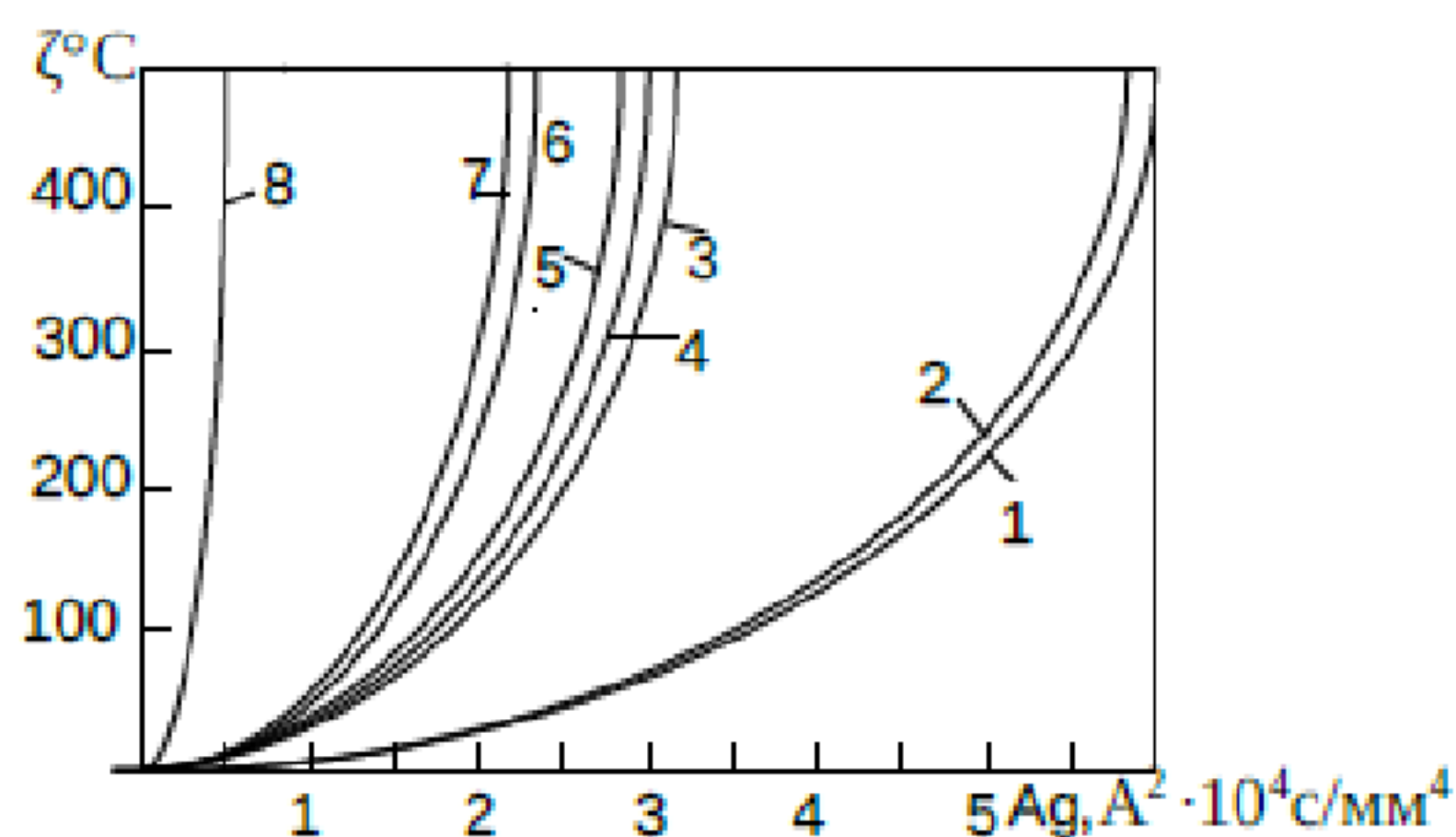


Рисунок 3.7 – Кривые для определения температуры нагрева проводников из различных материалов при КЗ 1 – ММ; 2 – МТ; 3 – АМ; 4 – АТ; 5 – АДО, АСТ; 6 – АД31Т1; 7 – АД31Т; 8 – СТЗ.

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 $T_a=0,07$ с. Время отключения КЗ составляет 0,6 с. Трансформатор тока $U_n=6$ кВ, $I_n=1000$ А, односекундная кратность тока термической устойчивости $k_T=80$.

Задание №2

Определить конечную температуру медной шины прямоугольного сечения с размерами 40×4 мм². Периодическая составляющая тока КЗ не затухает и равна 25 кА. Время отключения КЗ 2,0 с. Постоянная времени апериодического тока $T_a=0,08$ с. До КЗ токовая нагрузка шины составляла $0,7 I_{доп}$. 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.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

Задание №4

Проверить термическую устойчивость шин I при КЗ в цепи трансформатора собственных нужд $T_{с.н.}$ мощностью 6,3 МВА (рисунок 3.8).

Условию длительного режима удовлетворяют алюминиевые шины прямоугольного сечения $50 \cdot 6$ мм². Периодические составляющие тока КЗ на шинах 10,5 кВ станции равны: от системы $I_{н.с.}=20$ кА (незатухающая), от каждого генератора $I_{н.г.}=13,5$ 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.

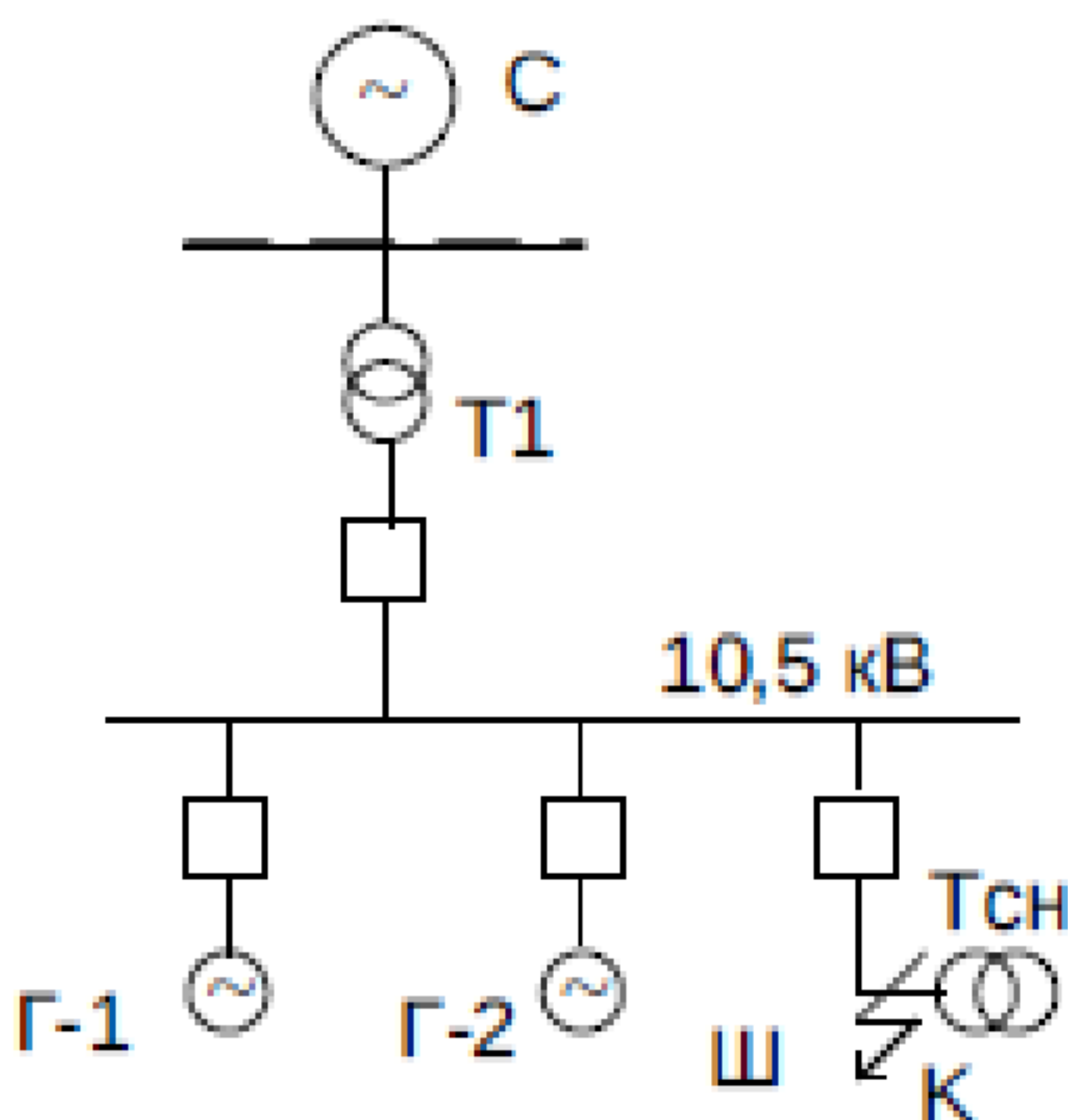


Рисунок 3.8 – Расчетная схема

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022	

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

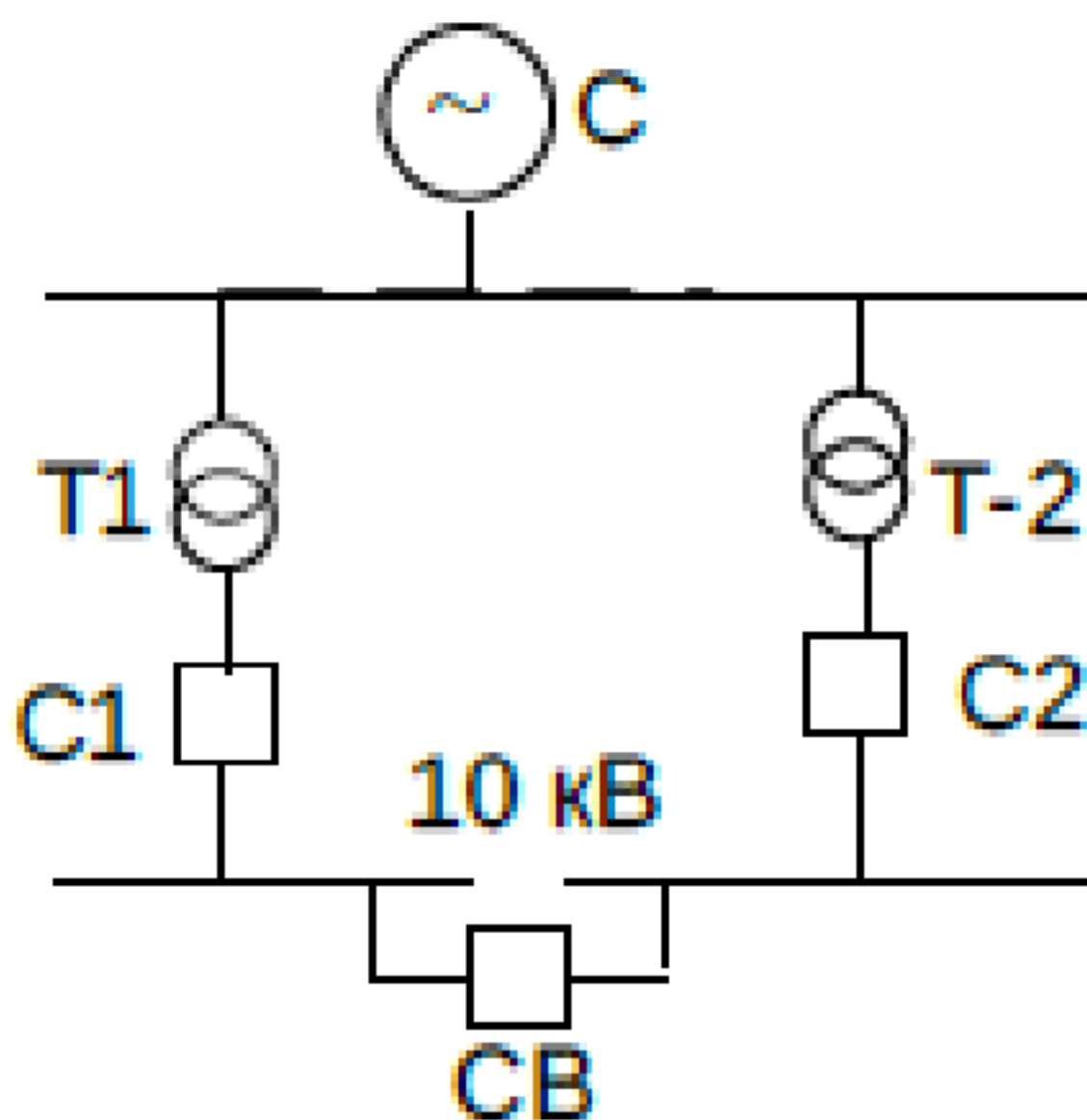


Рисунок 3.9 – Расчетная схема

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_{∞} ?

Практическая работа №4. 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,

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

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 наибольшие нагрузки вычисляются как:

$$q_{max.} = k_{ф.} \cdot \alpha \cdot i_{уд.}^2 / \alpha,$$

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

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

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	0,93	0,00	0,00
		1,00	1,00	0,00	0,00
По вершинам прямоугольного равнобедренного	А	0,87	0,87	0,29	0,87
	В	0,95	0,43	0,93	0,07
		0,95	0,93	0,14	0,43

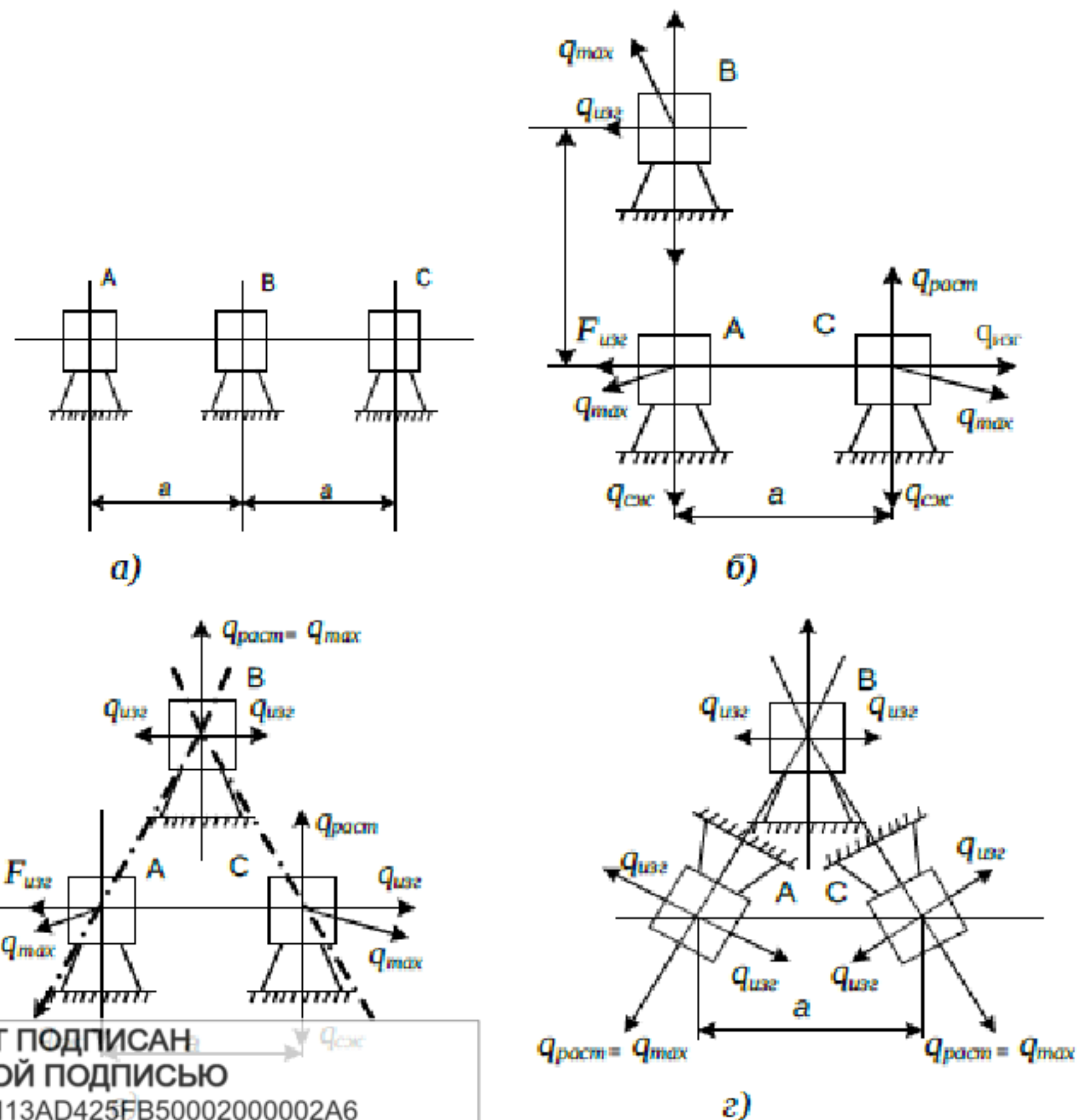
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
(рисунок 4.1б)
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

По вершинам Равносторон- ного треуголь- ника (рисунок 4.1в)	A	1,00	0,94	0,25	0,75
	B	1,00	0,50	1,00	0,00
	C	1,00	0,94	0,25	0,75
По вершинам Равносторон- ного треуголь- ника (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.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 $i_{y\partial.} = 20$ 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. 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 $\sigma_{доп.}$ принимается равным 70 % временного сопротивления разрыву (предела прочности) материала шин σ_v , т. е.:

$$\sigma_{доп.} = 0,7\sigma_v.$$

Допустимая нагрузка на изолятор $F_{доп.}$ принимается равной 60 % от минимальной разрушающей нагрузки $F_{разр.}$ приложенной к головке изолятора, т. е.:

$$F_{доп.} = 0,6 F_{разр.}$$

Для современных опорных (стержневых) изоляторов 6...35 кВ с внутренней заделкой арматуры (рисунок 5.1а) расстояние H примерно равно высоте изолятора $H_{из.}$ 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, заземленную или шарнирно опертую на опоры (таблица 5.1). Различают следующие основные типы шинных конструк-

ций и соответствующие расчетные схемы.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

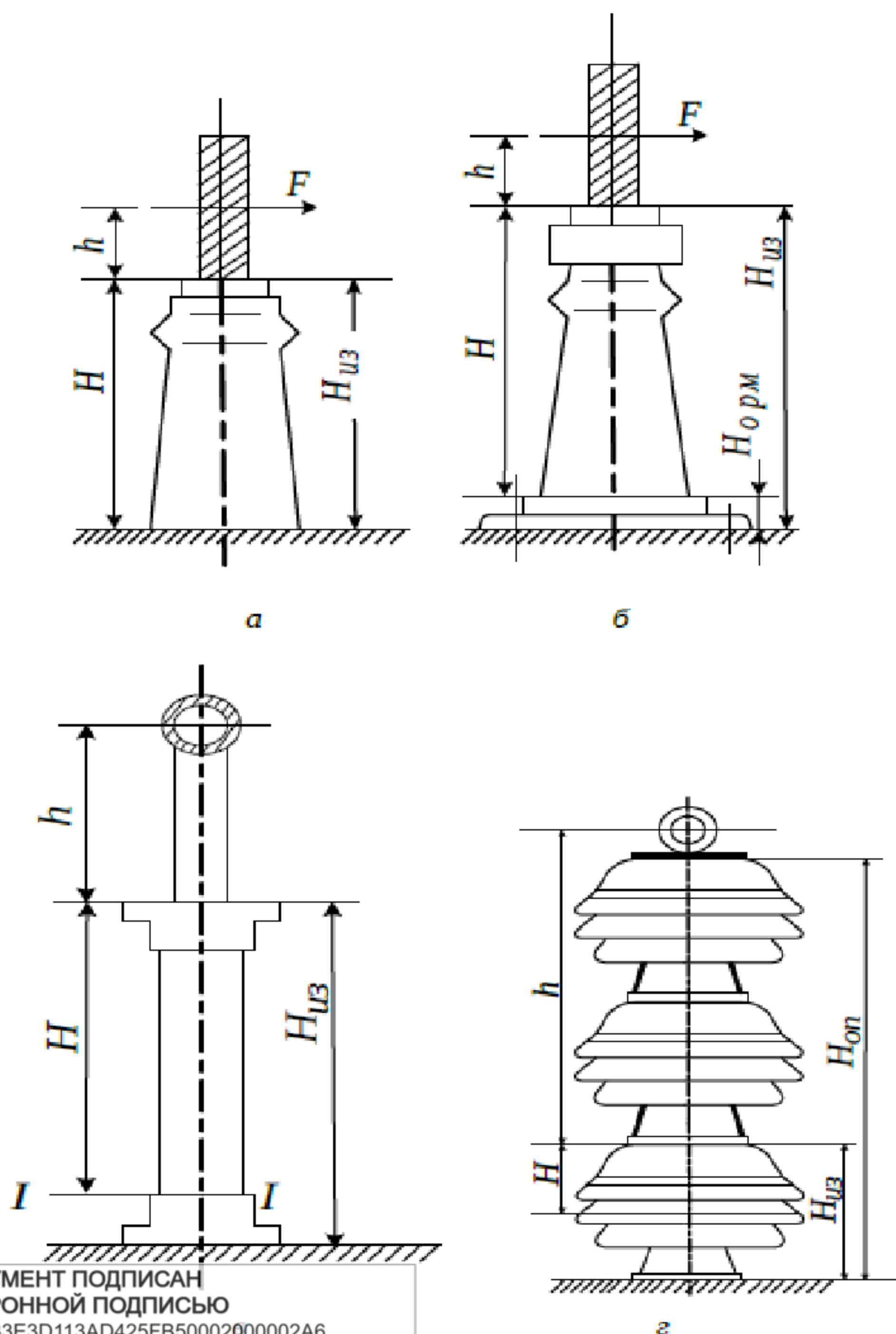
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Устанавливаются на опоры с помощью проушин, 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 (заземлением) 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 (заземлением) на обеих опорах (схема 3). Конструкции широко используются в РУ до 35 кВ.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Рисунок 5.1 – К определению допустимых нагрузок на изоляторы
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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 в одной 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 $i_{уд.} = 249,1$ кА.

Задание №2

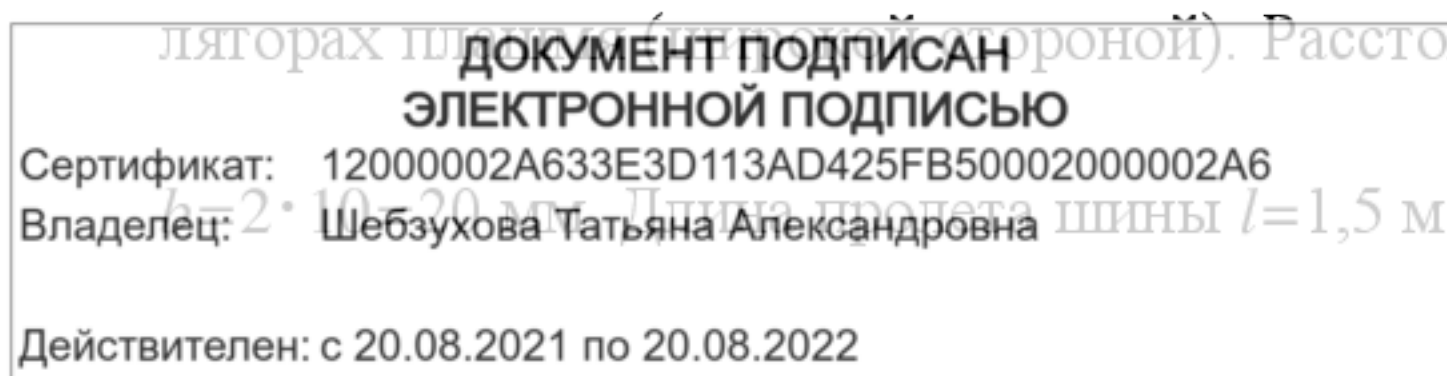
Определить марку алюминиевого сплава, из которого изготовлены шины, и тип изолятора шинной конструкции, фазы которой расположены по вершинам прямоугольного равнобедренного треугольника (см. рисунок 5.1б).

Шины имеют полый профиль с каналом квадратного сечения «труба квадратная». Высота стенки шины $h_1 = 60$ 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 $s = h \cdot b = 100 \cdot 10 = 1000$ мм². Фазы токопровода расположены в одной горизонтальной плоскости. Расстояние между фазами $a = 1,5$ м. Полосы пакета установлены на изоляторах (плоские и стержневые). Расстояние между осями полос пакета шины $a_{э.} = 2 \cdot$



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.

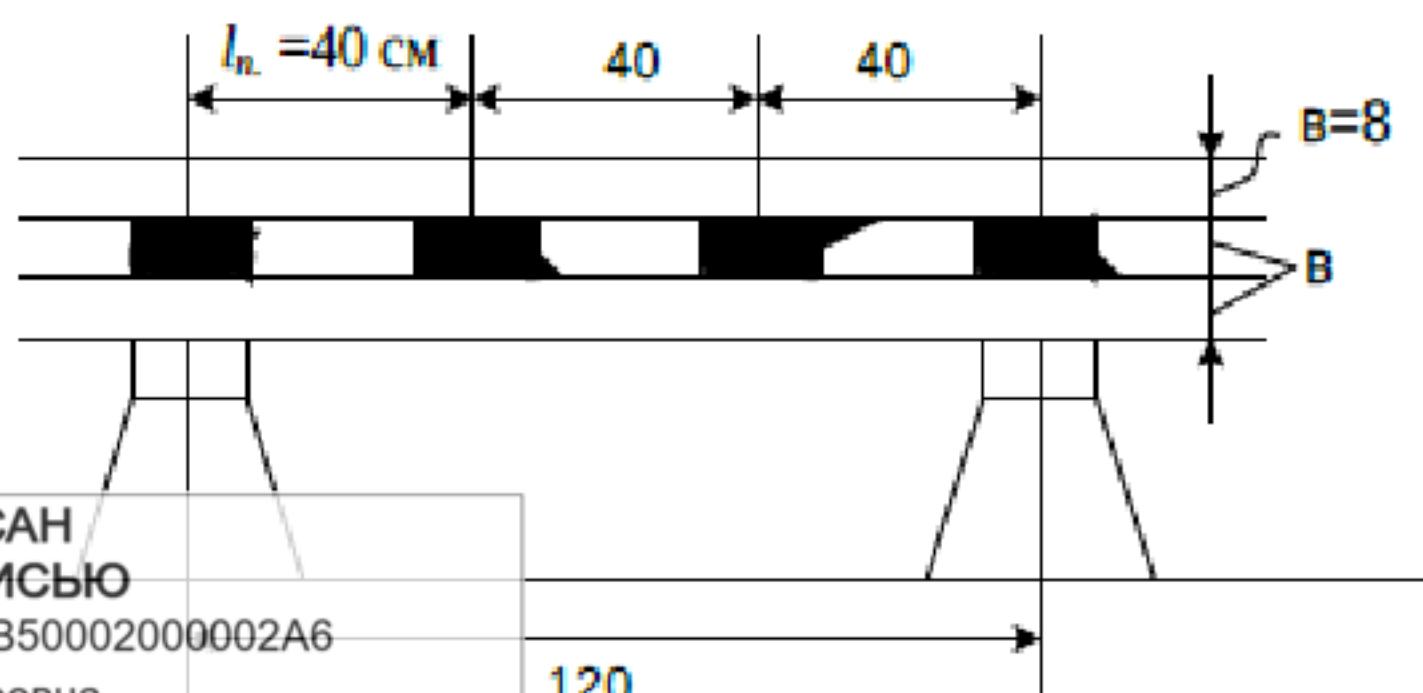
Вычислить наибольший допустимый ударный ток КЗ по условию электродинамической стойкости этой конструкции для решения вопроса о возможности сохранения установленных изоляторов и шин при расширении распределительного устройства и увеличении уровня токов КЗ. Трубчатые шины кольцевого сечения внешним диаметром $D = 90$ мм, внутренним – $d = 80$ мм изготовлены из алюминиевого сплава марки 1915Т (модуль упругости $E = 7,1 \cdot 10^{10}$ Па, плотность $\delta = 2770$ 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 $R_{разр.} = 20\,000$ Н. Масса опоры $M_{оп.} = 134$ кг. Высота каждого изолятора $R_{из.} = 400$ мм, высота всей опоры $H_{оп.} = 1200$ мм.

Задание №5

Проверить электродинамическую устойчивость алюминиевых прямоугольных шин сечением 80x8 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 $T_a = 0,05$ с.

Задание №6

Проверить электродинамическую устойчивость шинной конструкции, выполненной в виде двухполосного пакета из алюминиевых шин сечением 100x8 мм². Расстояние между фазами $a = 70$ см, пролёт между изоляторами $l = 120$ см, Расстояние между прокладками $l_n = 40$ см (см. рисунок 5.2). Ударный ток КЗ в цепи составляет 75 кА.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 5.2 – Шинная конструкция

Задание №7

Найти максимально допустимое расстояние между прокладками l_n двухполосного пакета из медных шин сечением $100 \times 10 \text{ мм}^2$ (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 $T_a = 0,08 \text{ с}$.

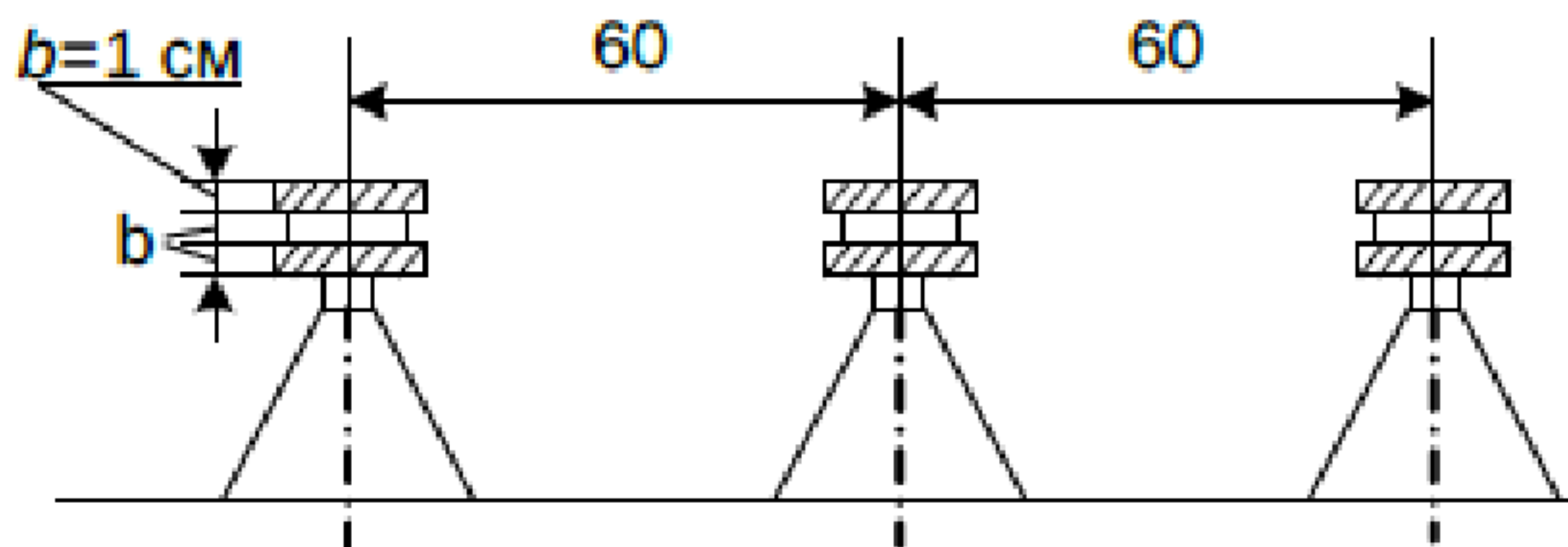


Рисунок 5.3 – К расчету задачи 7

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. 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 неонифазные 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 напифазных 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:

Сертификат:	12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен:	с 20.08.2021 по 20.08.2022

- а) силовые сети, открытым 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:

$$I_a \cdot K_z \leq I_g,$$

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

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

Задания:

Задание №1

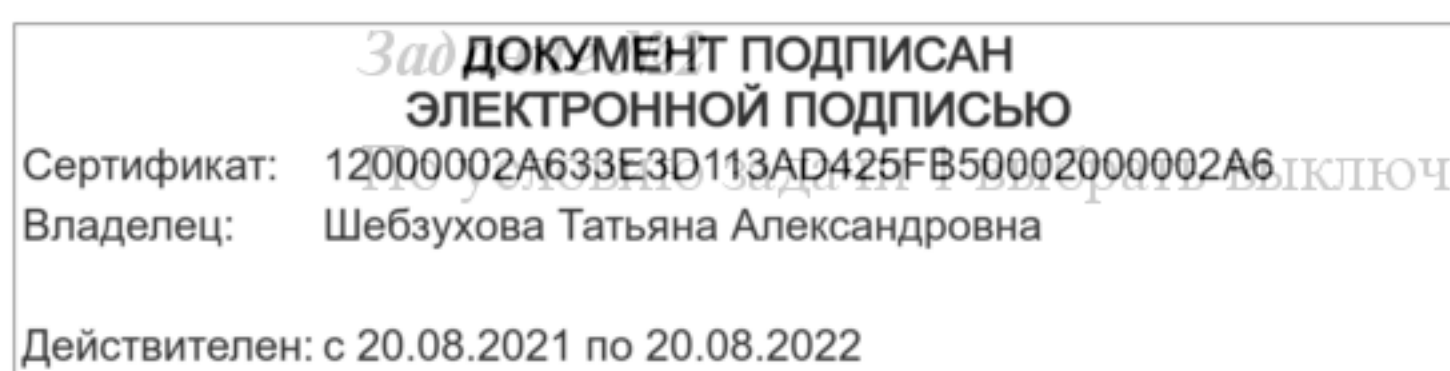
Для приведенной электрической схемы ТЭЦ (рисунок 1.4 часть 1) мощностью 2·110 МВт выбрать выключатели в следующих присоединениях:

- 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 T_a приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Расчет токов КЗ и постоянной времени T_a

Наименование ветви		Точка КЗ	$I_{н.о.}$ кА	T_a
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



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 $I_{п.с.} = 7,8$ кА (незатухающий ток); от каждого генератора $I_{п.о} = 6,3$ кА, $I_{п.о.1} = 4,6$ кА, $I_{п.о.4} = 3,8$ кА. Постоянные времени апериодического тока: для системы $T_{а.с.} = 0,05$ с, для генератора $T_{а.г.} = 0,1$ 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 $I_{р.мах.} = 90$ А. К линии подключён электродвигатель с $I_{н.д.} = 25$ А и кратностью пускового тока $K_{п.} = 7$, 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.

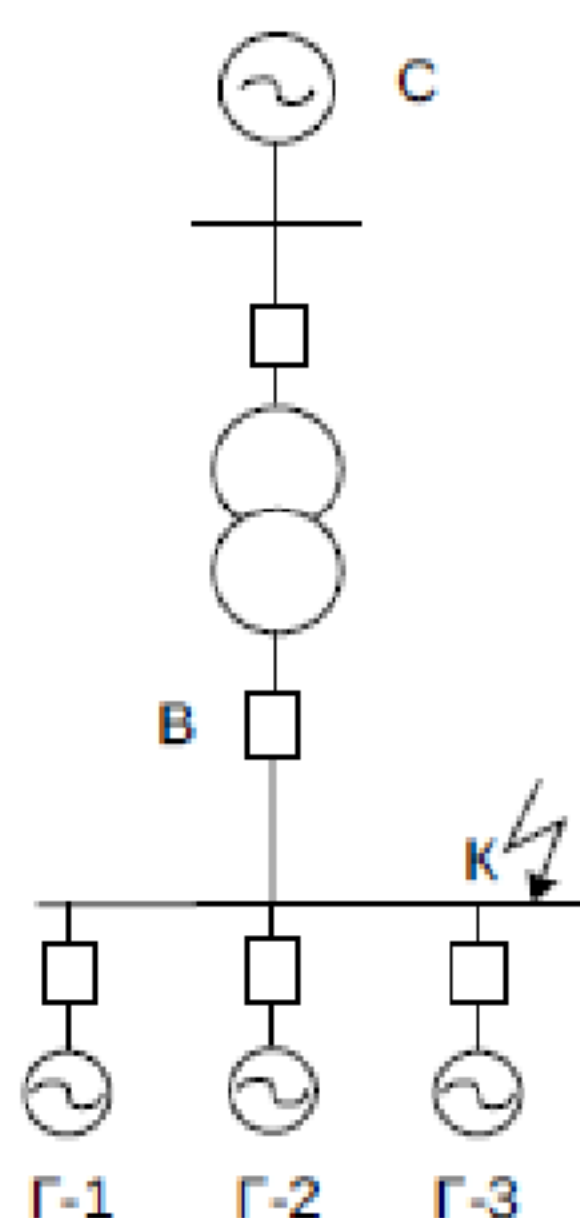


Рисунок 6.1 – К расчету задачи 4

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?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Практическая работа №7. Выбор разъединителей.

Цель: Приобрести 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.

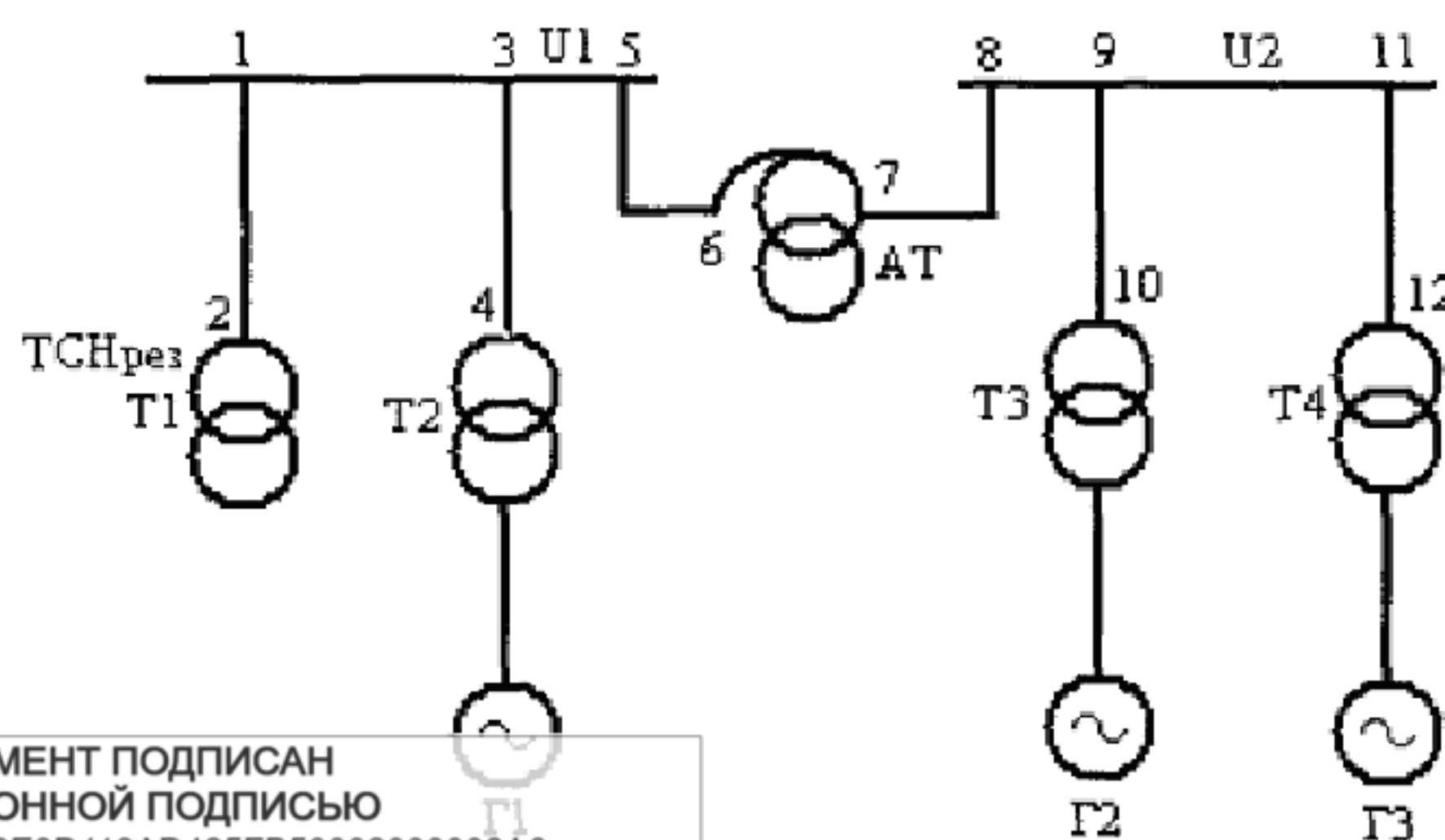


Рисунок 7.1 – Расчетная схема

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	220	220	220	110	110
	U_2	330	500	500	220	220
Мощность генераторов, МВА	$G1$	---	---	253	117,5	117,5
	$G2$	---	---	---	253	253
	$G3$	353	---	---	253	253
Мощность трансформаторов, МВА	$T1$	---	40	---	32	32
	$T2$	---	---	250	125	125
	$T3$	400	---	---	250	250
	$T4$	---	---	---	250	400
Мощность автотрансформатора	AT	---	---	---	250	250
Токи КЗ на выбранном участке, кА	i''	9,5	11	11	12,8	10,2
	i_y	26	30,2	30,2	35	27,9
	$i_{n.t}$	7,8	9,8	9,8	10,1	8,3
	$i_{a.t}$	7	10	10	11	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

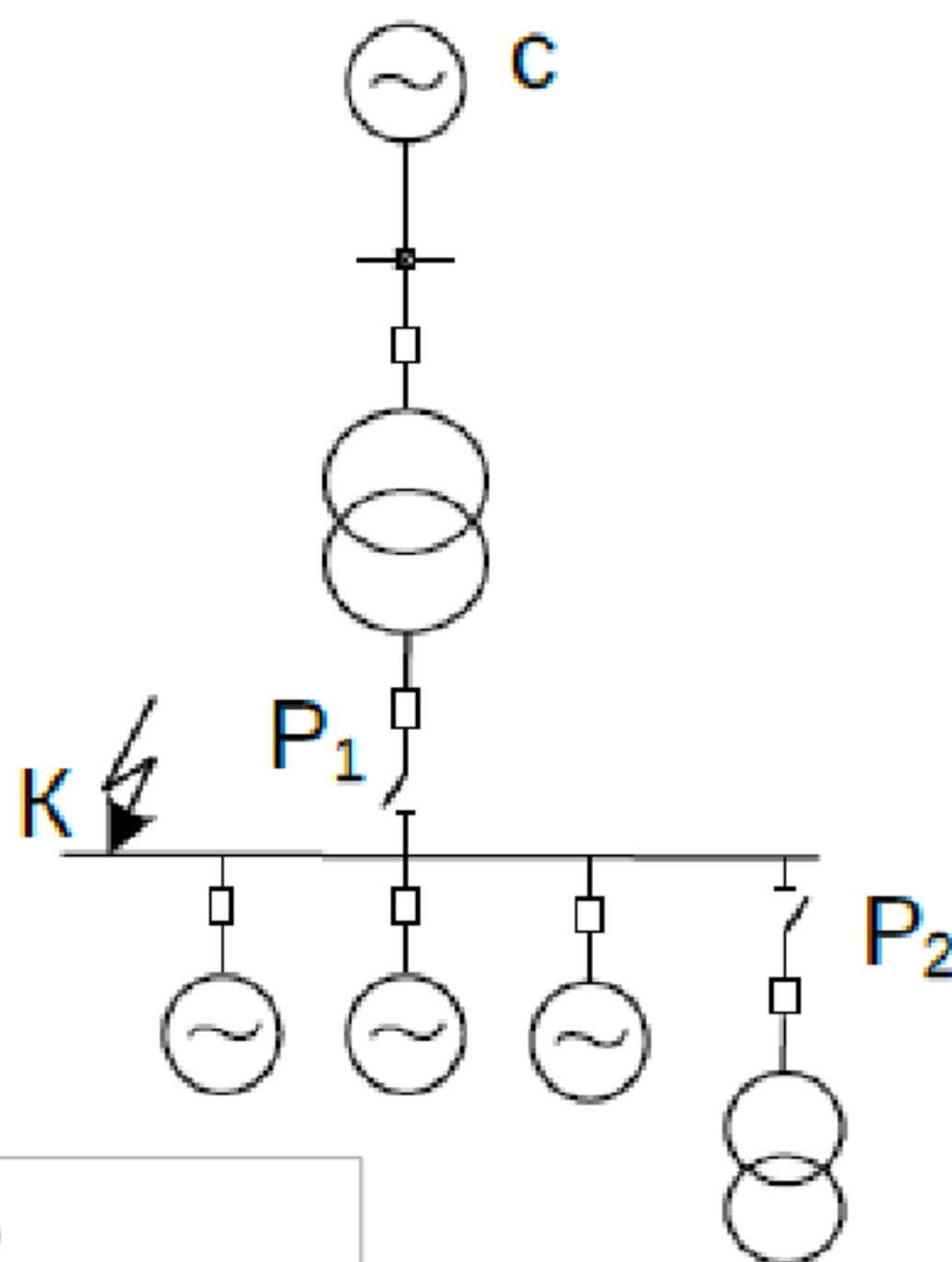
ВАРИАНТ		6	7	8	9	10
Шины, выключатели, разъединители, участок		1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
Напряжение, кВ	U_1	110	110	110	110	110
	U_2	220	230	220	220	220
Мощность генераторов, МВА	$G1$	---	117,5	---	---	---
	$G2$	---	---	---	---	---

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
 ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
 Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
 Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
 Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Мощность трансформаторов, МВА	$T1$	32	125	---	---	32
	$T2$	32	125	---	---	---
	$T3$	---	---	---	---	---
Мощность автотрансформатора	AT	---	---	125	250	---
Токи КЗ на выбранном участке, кА	i''	12,5	12,5	10	10,2	12,5
	i_y	34	34	31,6	27,9	34
	$i_{n.t}$	9,6	9,6	8,5	8,3	9,6
	$i_{a.t}$	10,2	10,2	9,0	9,1	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 трехфазного КЗ в точке К равны: от системы 8,5 кА, от каждого генератора по 7 кА. Постоянные времени затухания аperiodического тока: для системы $T_{a.c.} = 0,05$ с, для генератора $T_{a.g.} = 0,1$ с. Номинальный ток электродинамической устойчивости разъединителя составляет 80 кА.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Практическая работа №8. 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:

$$\begin{aligned} U_{ном.} &\geq U_{сети ном.}; I_{ном.} \geq I_{норм. расч.}; \\ k_{п.} \cdot I_{ном.} &\geq I_{прод. расч.} = I_{раб. нб.}; i_{дин.} \geq i_{уд.} \\ \sqrt{2} \cdot I_{ном.} \cdot k_{дин.} &\geq i_{уд.}; \\ I_{тер. тер.}^2 &\geq B_k. \\ (I_{ном.} \cdot k_{тер.})^2 \cdot t_{тер.} &\geq B_k; \end{aligned}$$

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:

$$S2 \approx I^2_{2_{HOM.}} \cdot Z2 \approx 25 \cdot Z2 \leq S2_{HOM.}.$$

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
(ЭЭпpи6) ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Сопротивление проводов вторичной цепи зависит от длины трасс прокладки проводов $l_{пр.}$, 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 ($\rho = 0,0175 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$), применяют во вторичных цепях мощных электростанций с высшим напряжением 220 кВ и выше. Во вторичных цепях остальных электроустановок используют кабели с алюминиевыми жилами ($\rho = 0,028 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$).

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 $2,5 \text{ мм}^2$, а алюминиевых – не менее 4 мм^2 ; для цепей с измерительными приборами (без счетчиков) медные провода должны иметь сечение не менее $1,5 \text{ мм}^2$, а алюминиевые – не менее $2,5 \text{ мм}^2$.

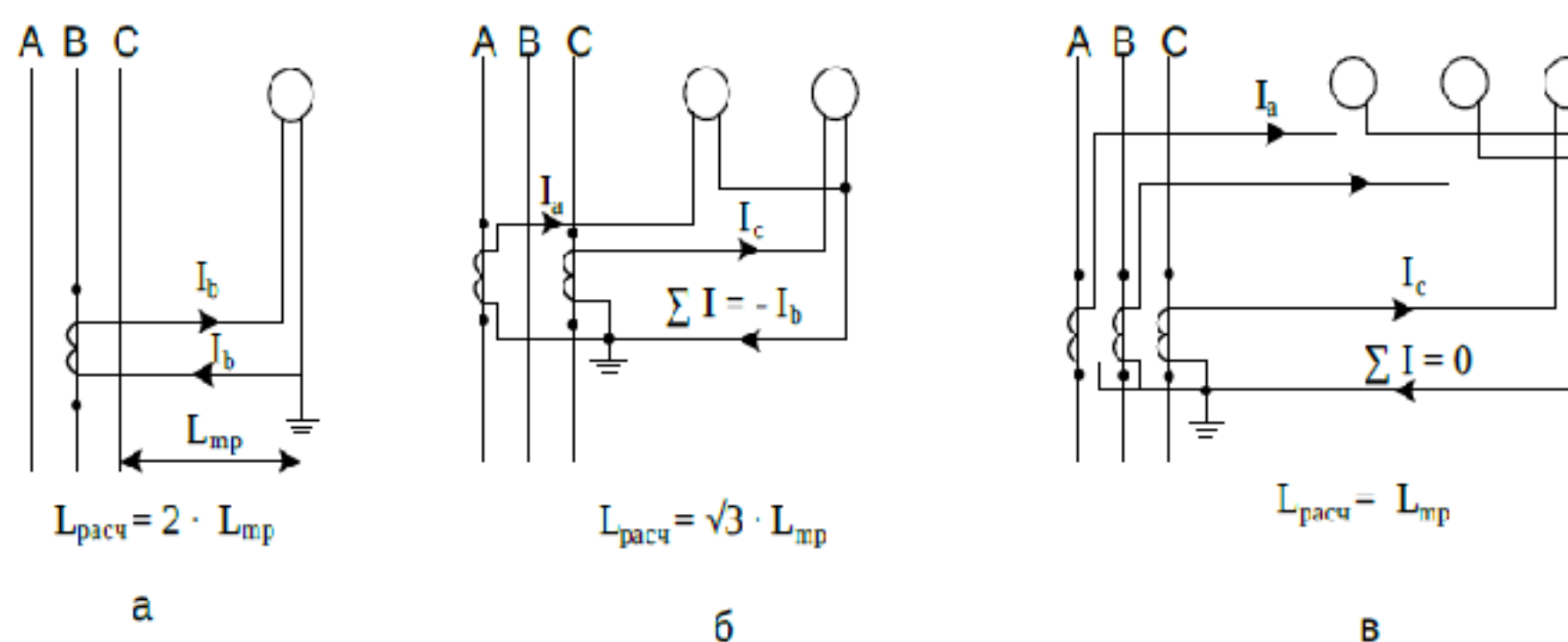
2. Сечение провода должно быть взято больше минимального, удовлетворяющего требованию механической прочности (сечение больше 6 мм^2 не применяется). Стандартные сечения жил контрольных кабелей: 1,5; 2,5; 4; 6 мм^2 .

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



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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) l_{mp} . (длина трассы) должна быть известна из проекта распределительного устройства и щита управления. Ориентировочно l_{mp} , 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 0,1 Ом.

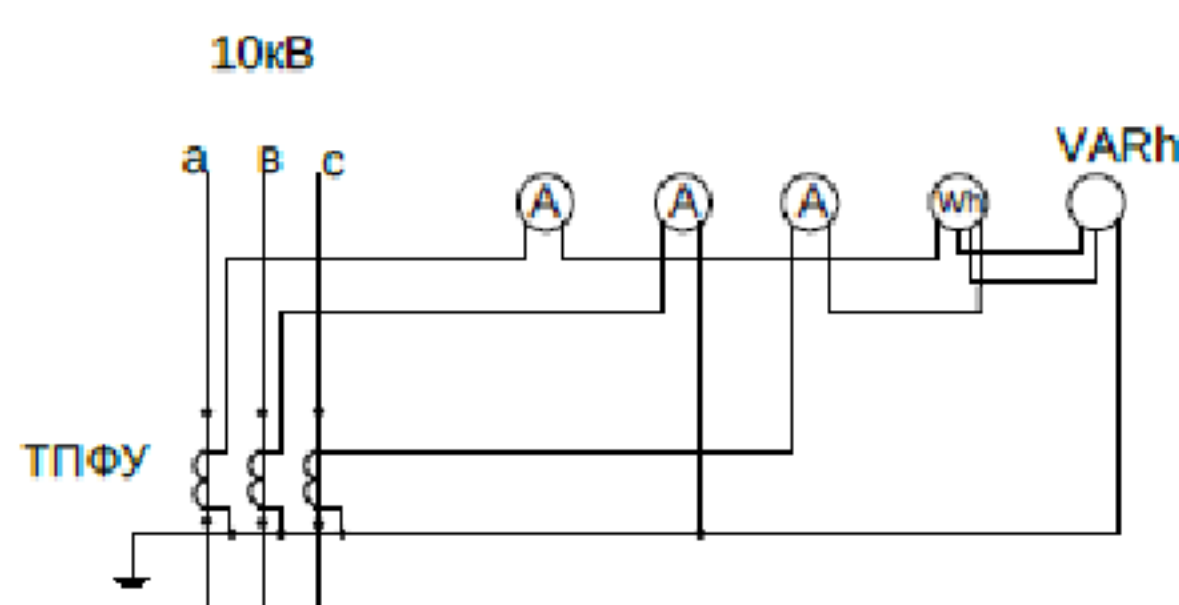


Рисунок 8.2 – Схема включения измерительных приборов

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.

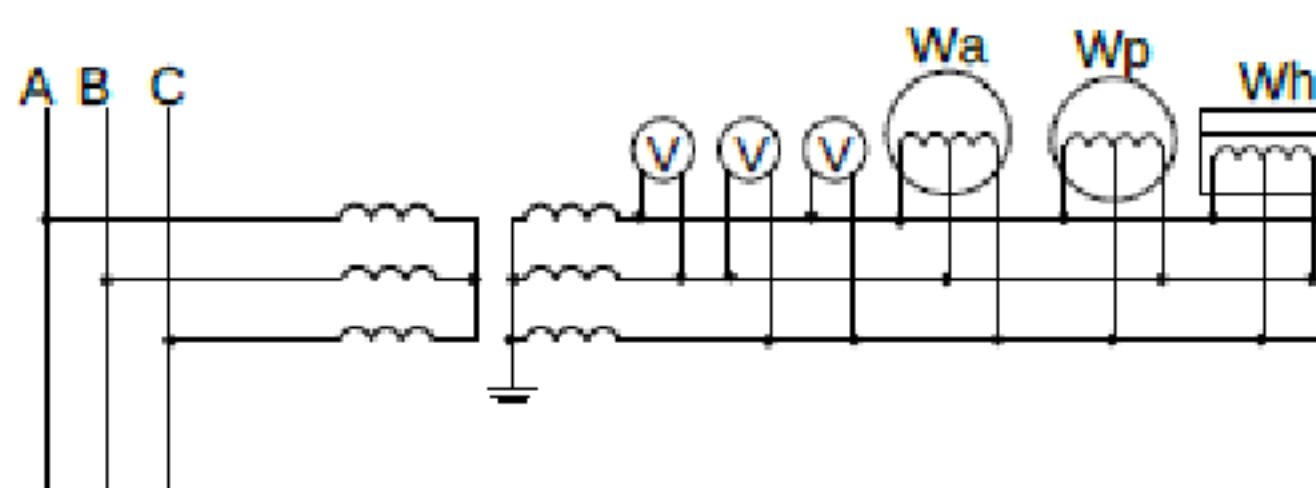


Рисунок 8.3 – Схема включения приборов

Задание №3

Выбрать трансформатор напряжения на сборных шинах подстанции. Подстанция с

ПОСТОЯННЫЙ КОМПЕТЕНТНЫЙ ЦЕНТР

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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.

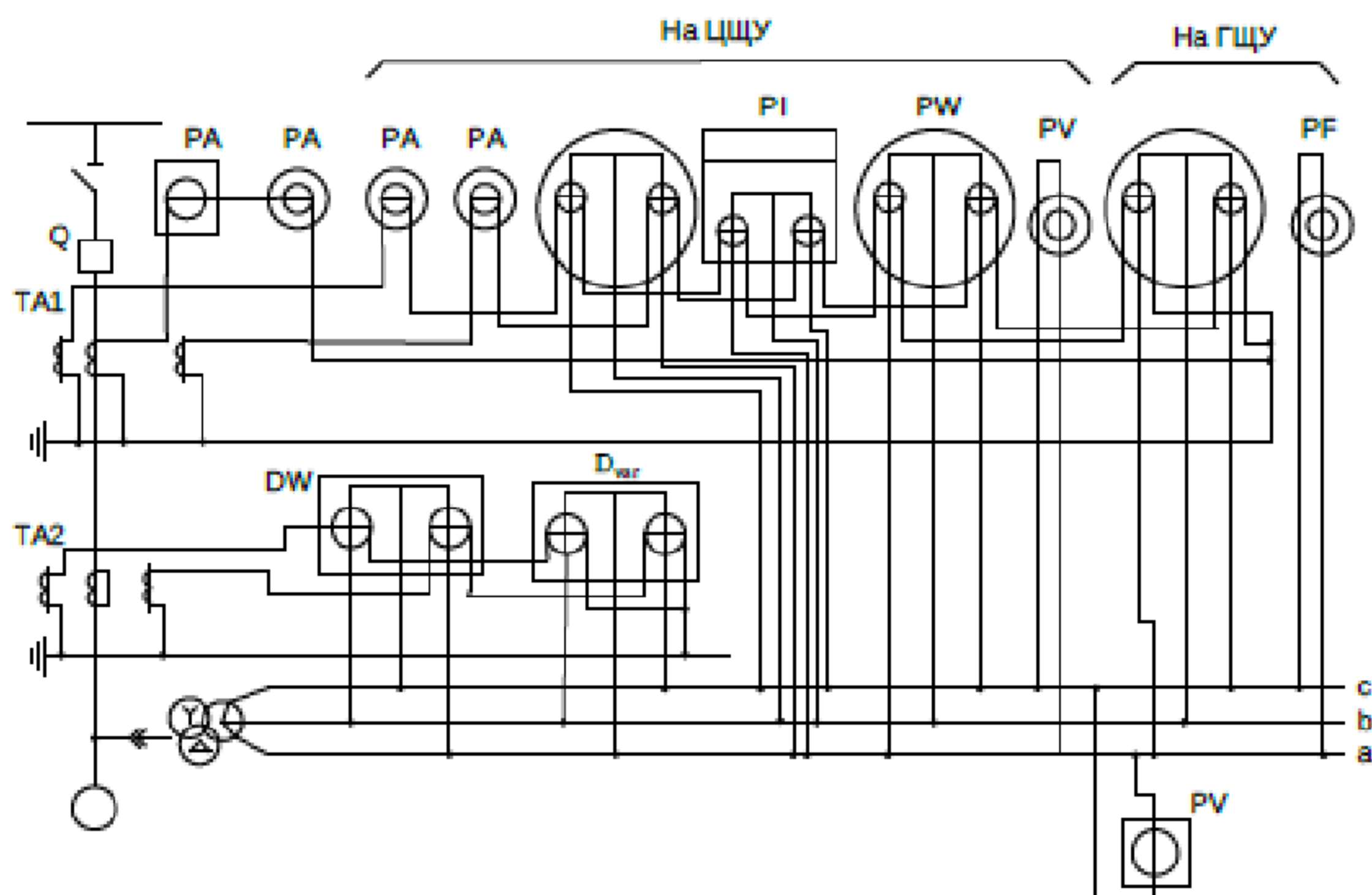


Рисунок 8.4 – Схема включения измерительных приборов генератора

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. Как выбрать тип трансформатора тока и напряжения?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Практическая работа №9. 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 удастся создать из существующих элементов сети путем:

- отключения секционного выключателя РУ 10 кВ ПС;
- отключения при КЗ секционного выключателя ГРУ 10 кВ ТЭЦ;
- отключения секционного выключателя (ШСВ) при двойной системе шин ОРУ 110-220 кВ с фиксированными присоединениями;
- отключения секционного выключателя для системы сборных шин ОРУ ПО-220 кВ;

