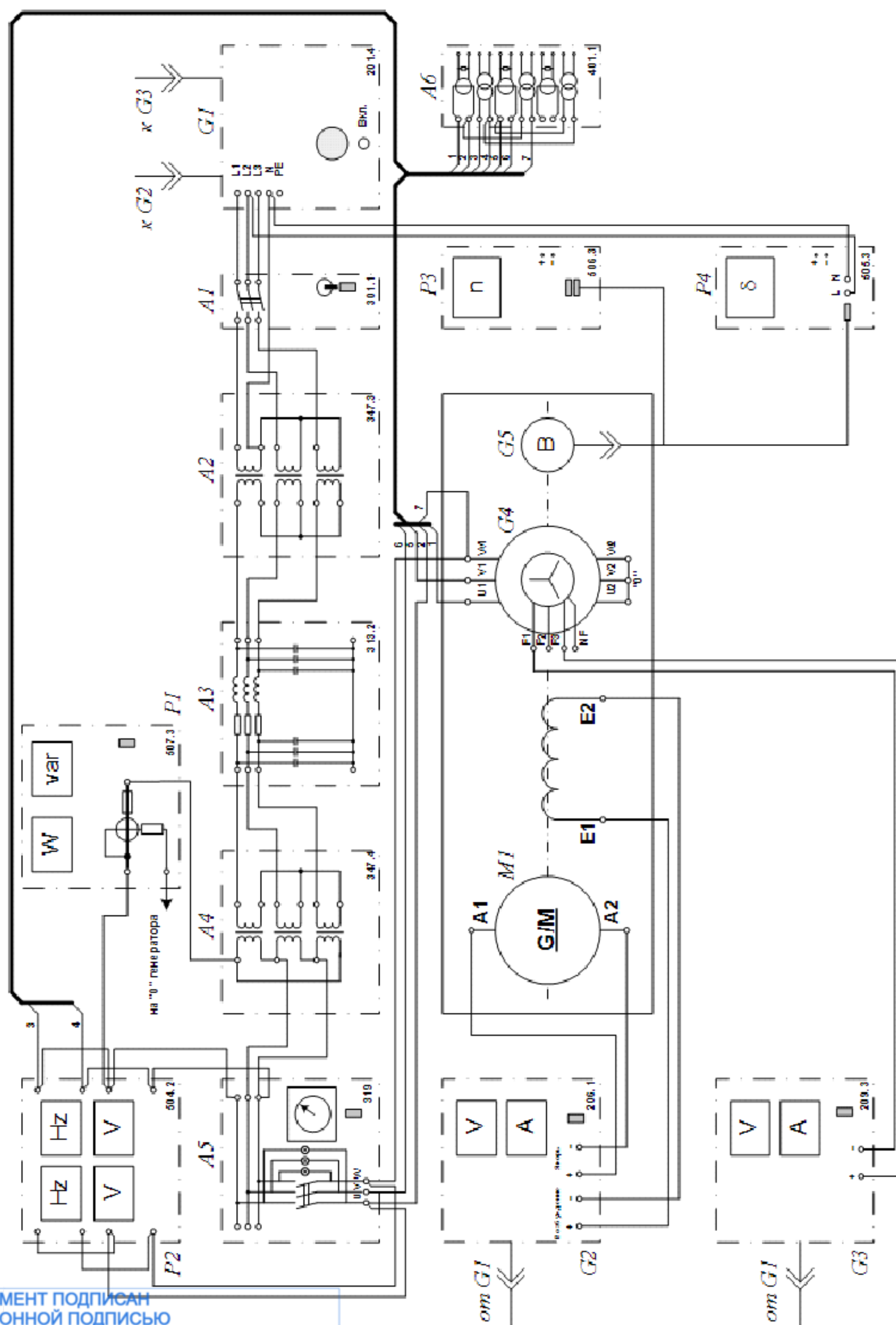
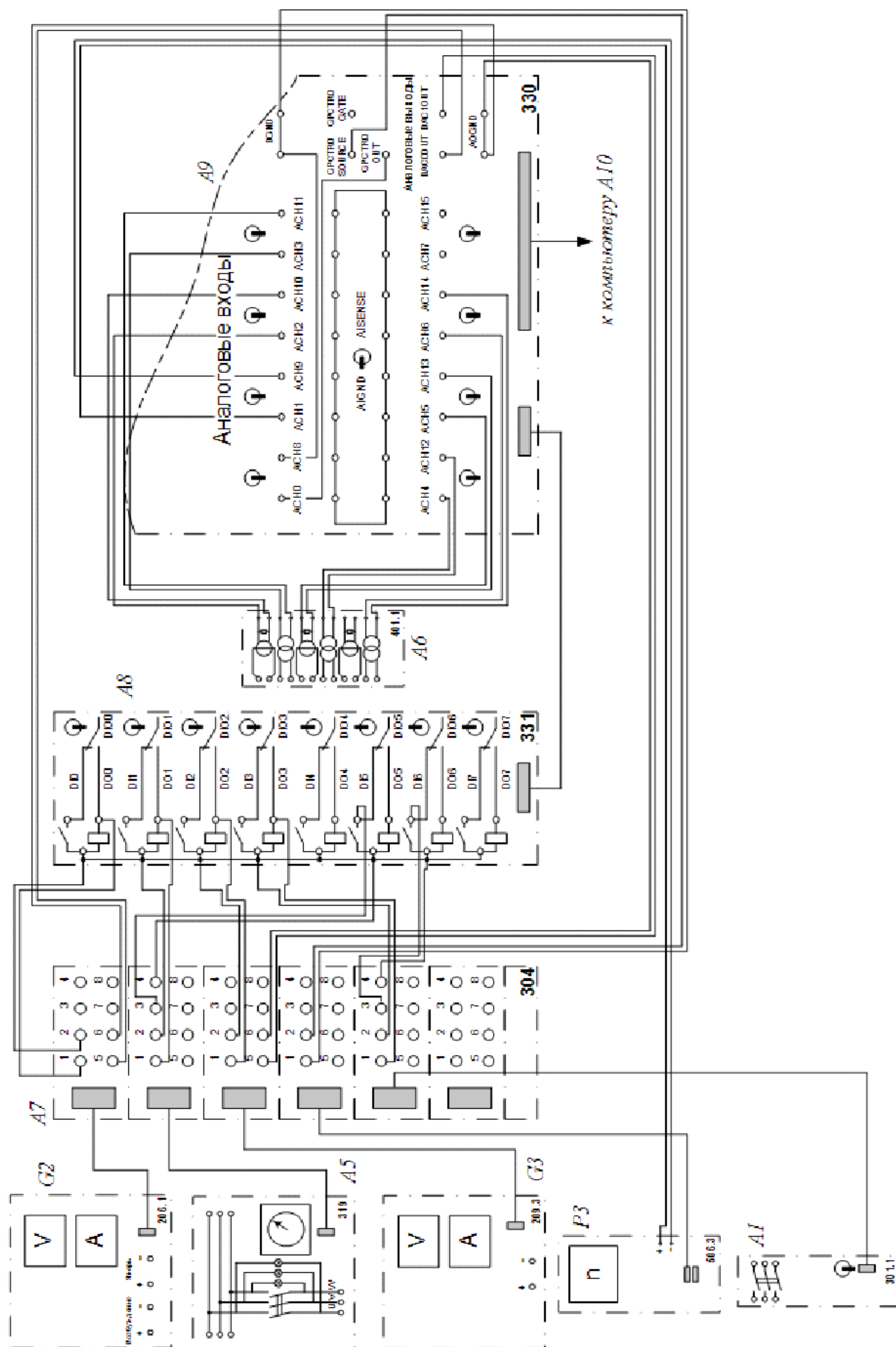


Необходимо учитывать, что имеются погрешности определения режимных параметров, которые могут повлиять на выбор момента включения выключателя блока А5 синхронизации, кроме того, время включения этого выключателя также может колебаться в небольших пределах. Поэтому момент включения генератора в сеть носит 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: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Рисунок 1.2 – Принципиальная схема модуля ввода-вывода к коннектору

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA5000660000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

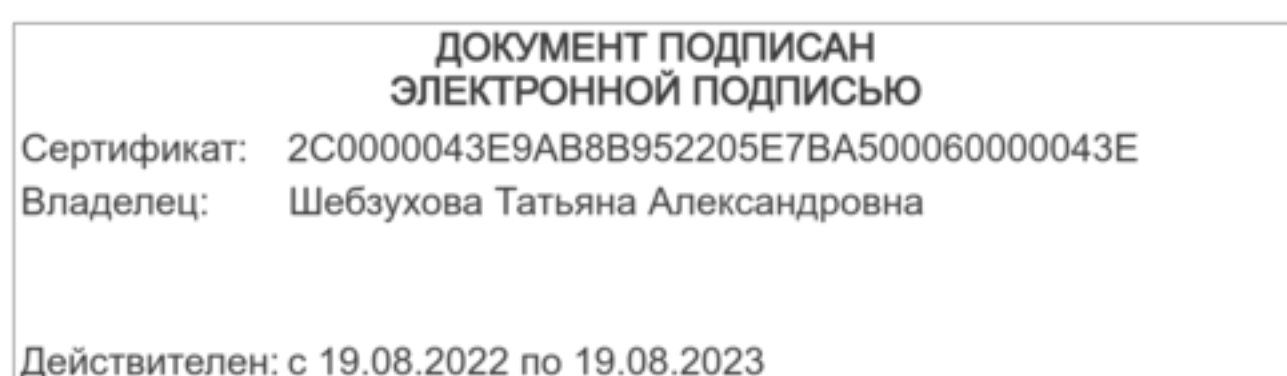
Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

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

Контрольные вопросы:

1. Параллельная работа синхронных генераторов на сеть ограниченной мощности.
2. Какие методы имеются для включения синхронных генераторов на параллельную работу с сетью?
3. К чему приведет несоблюдение отдельных условий включения генераторов на параллельную работу с сетью по методу точной синхронизации?
4. Что произойдет, если при включении генератора на параллельную работу с сетью по методу самосинхронизации обмотку возбуждения генератора оставить подключенной к возбудителю?



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

Цель работы: Ознакомиться с управлением режимами автономно работающего синхронного генератора

Основы теории:

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

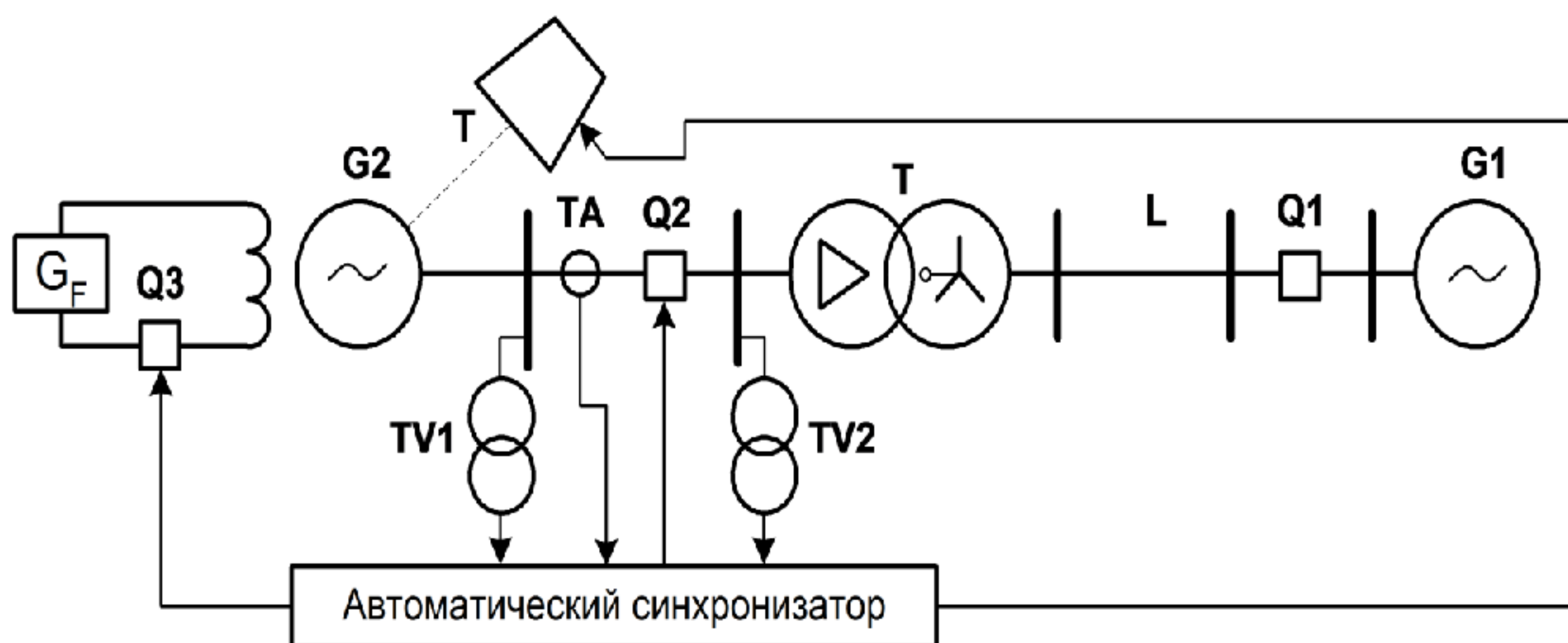


Рисунок 2.1 – Модель одномашинной электрической системы

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

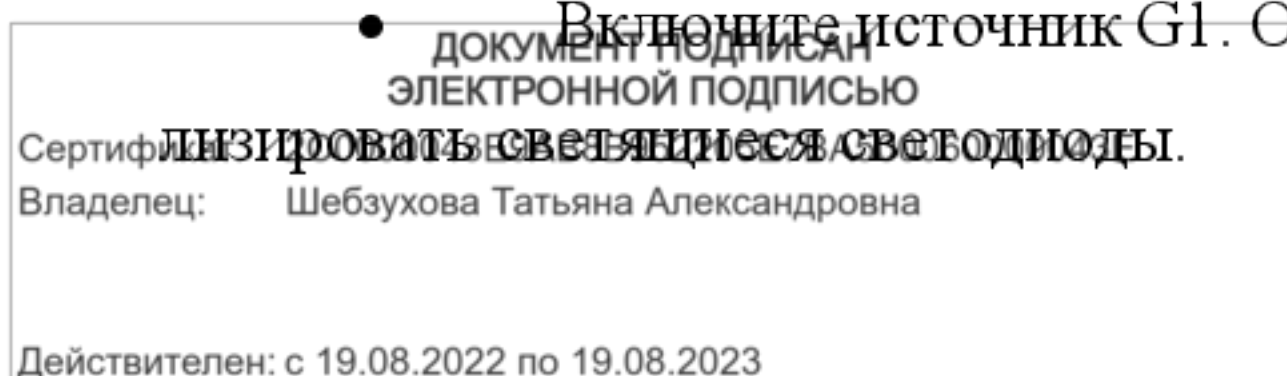
Таким образом, в данной работе моделируется комплексное управление электрической системой – управление подключением генератора к системе бесконечной мощности, регулирование активной и реактивной мощностей генератора, управление отключением генератора от электрической системы.

Указание по технике безопасности:

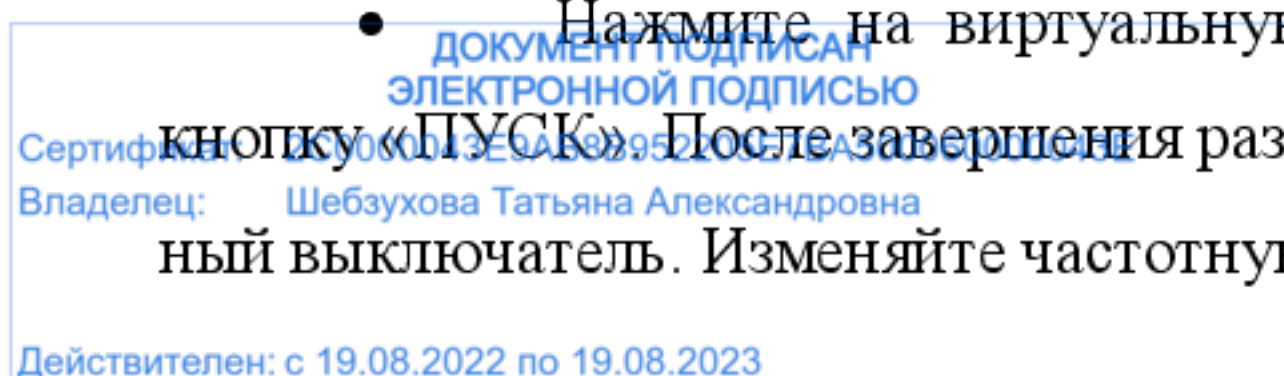
Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

Указания по выполнению лабораторной работы:

- Собираем электрическую схему соединений и устанавливаем параметры ее элементов. Выполняем подготовительные операции.
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.
- Соедините гнезда защитного заземления "■" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «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 сигна-



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



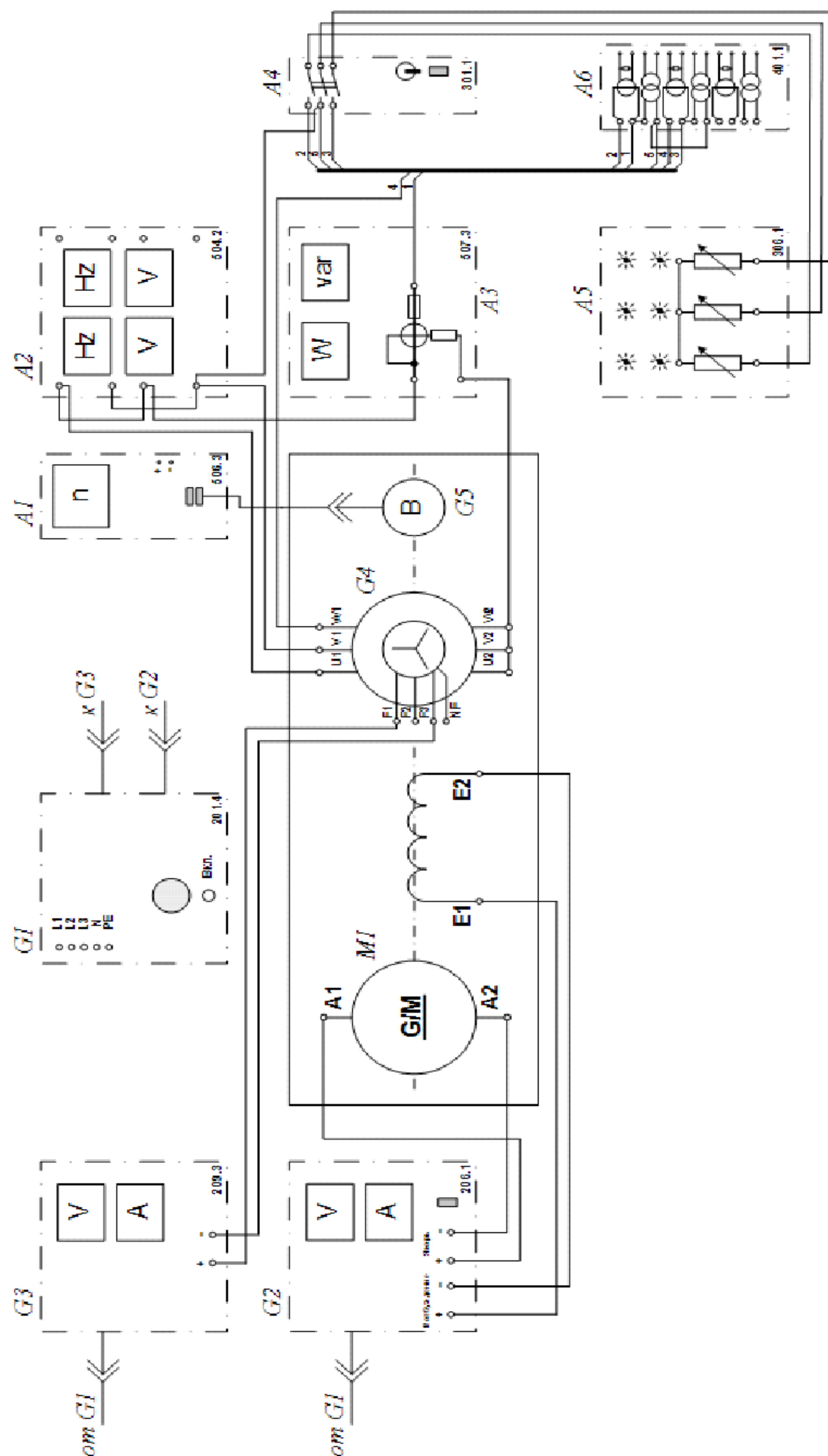
мышкой белой точки на соответствующем графике), мощности фаз активной нагрузки A6, задание напряжения на шинах генератора (с помощью виртуальной регулировочной рукоятки). Наблюдайте изменение режимных параметров схемы.

- 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: 2C00004405205E7B4
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Рисунок 2.2 Принципиальная схема управления режимом автономно работающего синхронного генератора.

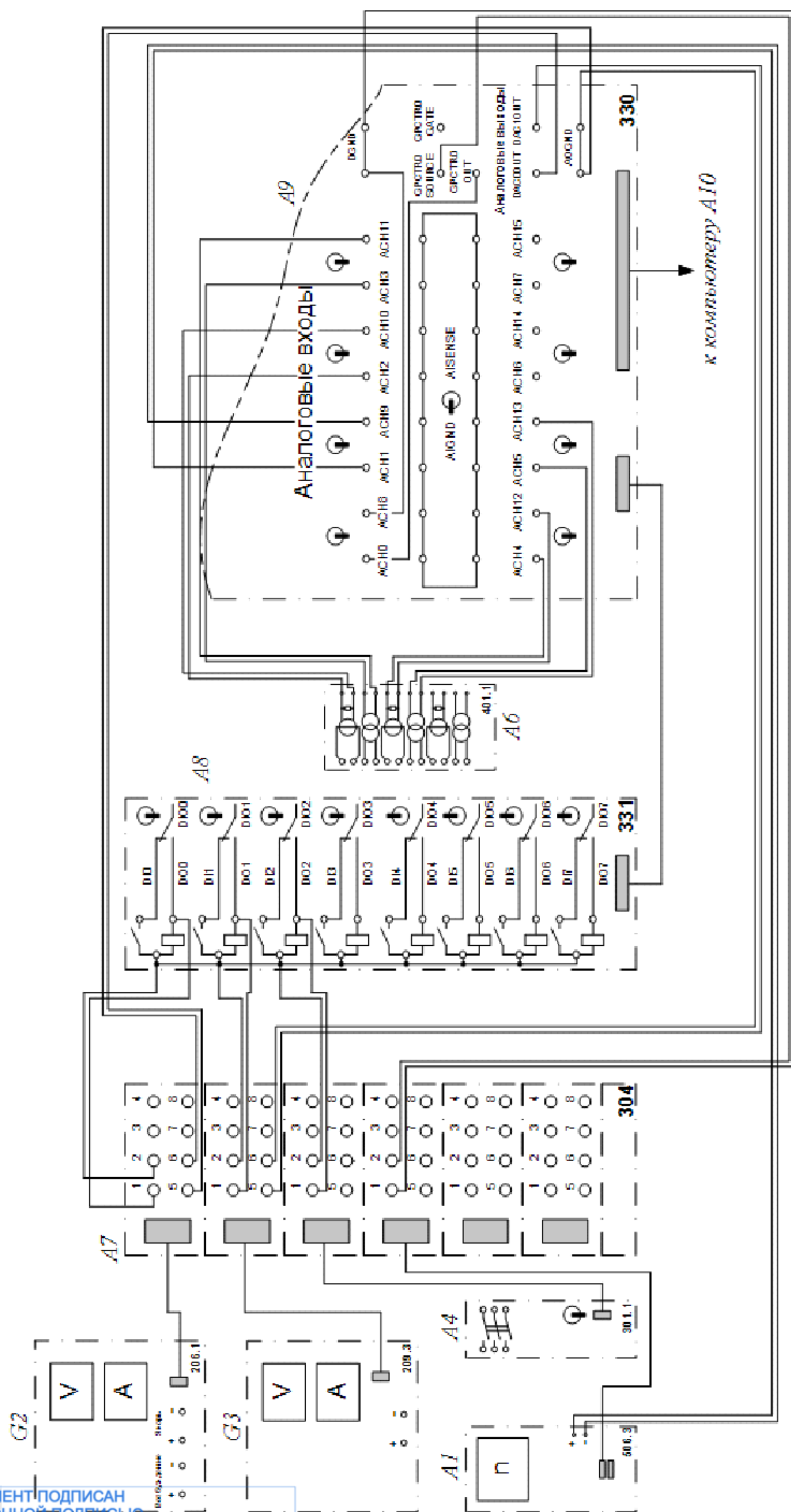


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема модуля ввода-вывода к коннектору

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

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

Контрольные вопросы:

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

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

Основы теории:

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

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

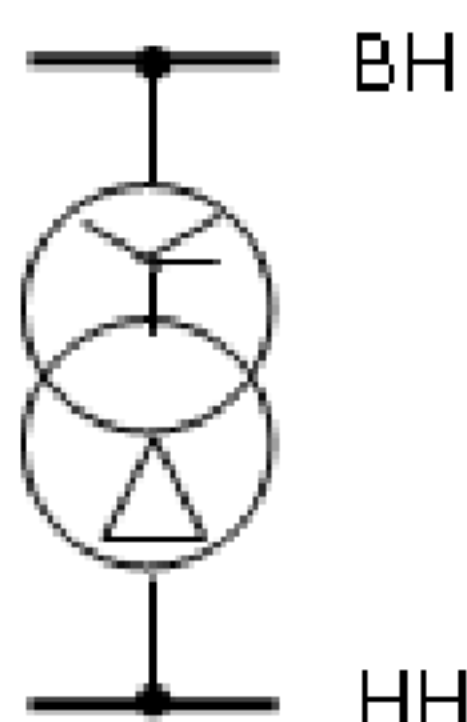


Рисунок 3.1 – Условное обозначение двухобмоточного трансформатора

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

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

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

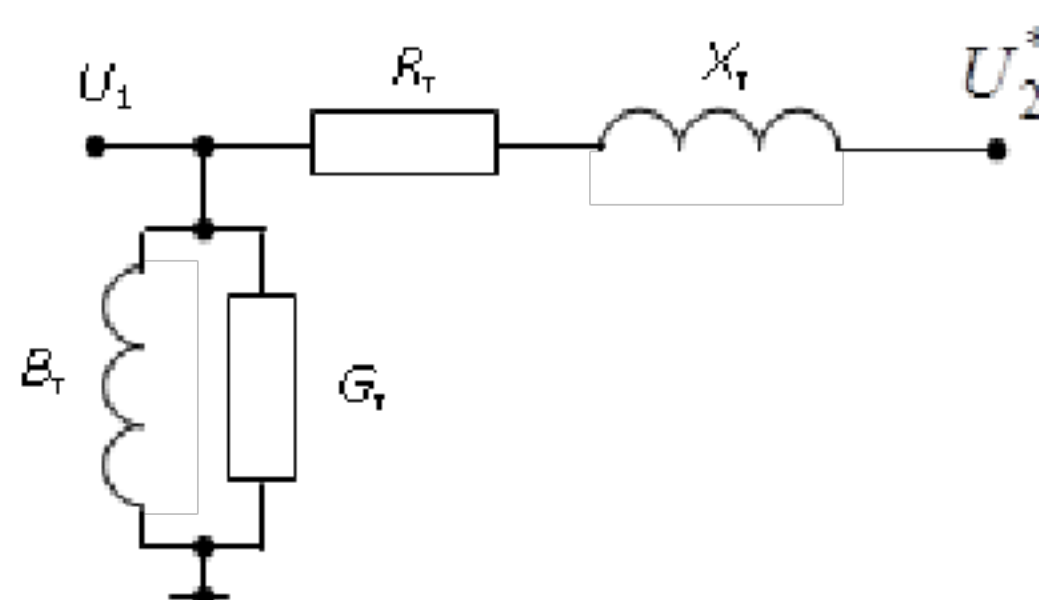


Рисунок 3.2 – Г-образная схема замещения двухобмоточного трансформатора

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

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

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

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 %;
- ток холостого хода I_x , 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;

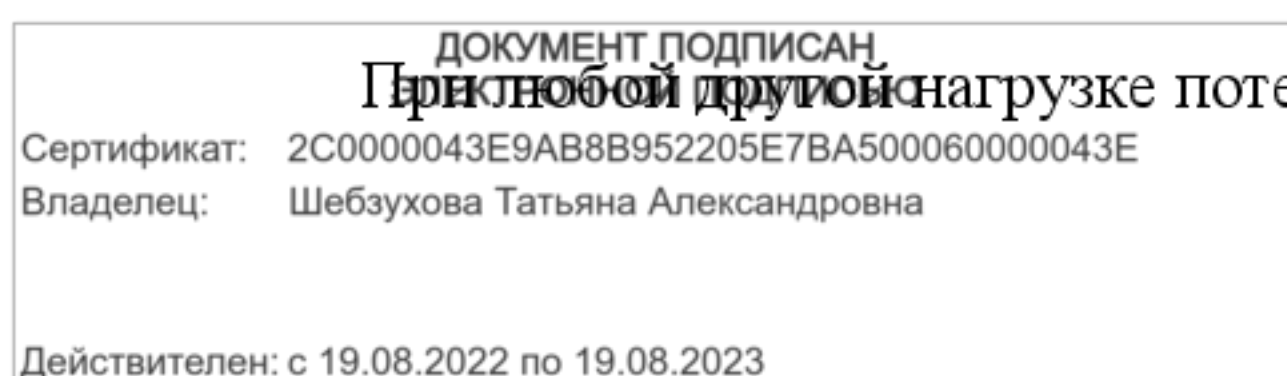
U – линейное напряжение на вторичной стороне трансформатора.

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:

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

При любой другой нагрузке потери в меди трансформатора равны:



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

Разделив эти выражение, получим:

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

Откуда найдем $\Delta P_{\text{мд}}$:

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

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:

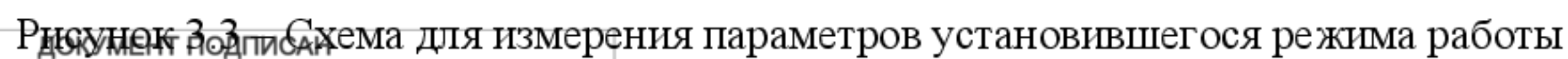
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети

электропитания.

Документ подписан ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец:	Шебухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023	

- Соедините гнезда защитного 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.



Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

94

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. Принципы построения схем электрических соединений энергообъектов. Пуск и регулирование реактивной мощности синхронного компенсатора.

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

Основы теории:

Существуют несколько способов пуска компенсатора. Все они в 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.

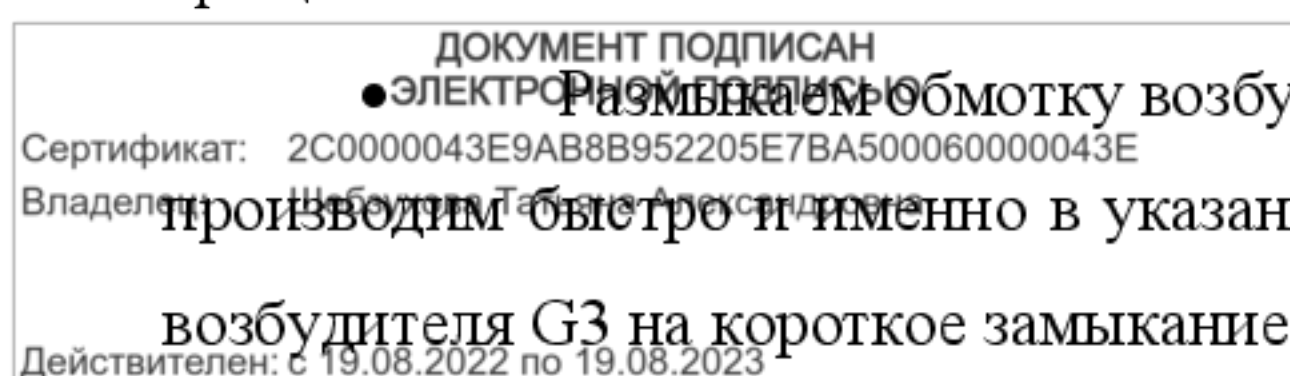
Указание по технике безопасности:

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.

Замыкаем обмотку возбуждения и подключаем к ней возбудитель. Действие производим быстро и именно в указанной последовательности, во избежание включения возбудителя G3 на короткое замыкание.



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

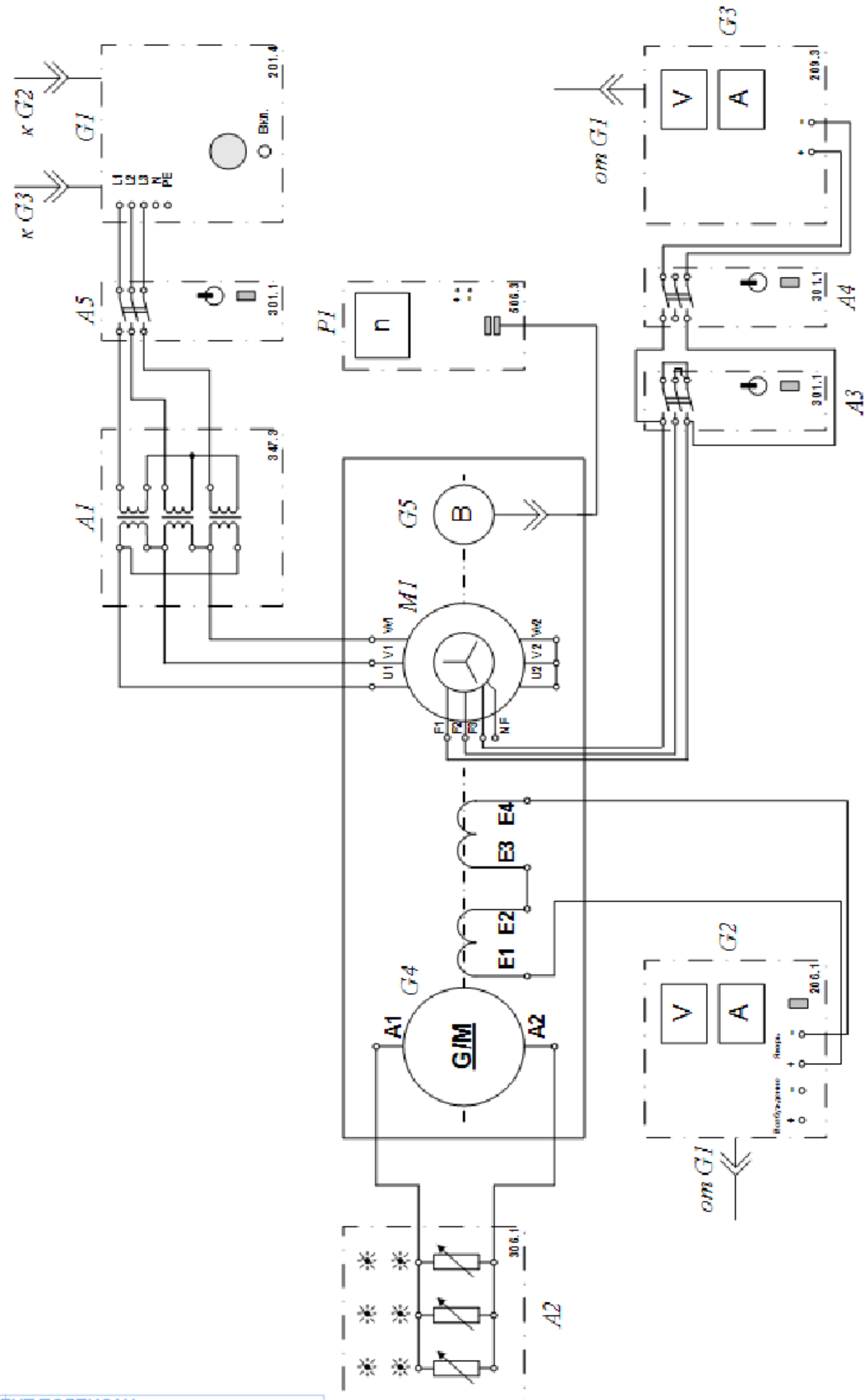


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема пуска синхронного компенсатора реактивной мощности без нагрузки на валу

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

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

Контрольные вопросы:

1. Принцип действия синхронной машины и особенности ее конструкции. От чего зависит частота вращения синхронного двигателя?
2. При каких условиях можно использовать асинхронную машину в качестве синхронной?
3. Каково назначение синхронного компенсатора?
4. Какой ток возбуждения называется нормальным?
5. Охарактеризуйте работу синхронного компенсатора в режиме 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. Принципы построения схем электрических соединений энергообъектов. Прямой/реакторный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

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

Основы теории:

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

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

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

Указание по технике безопасности:

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

Указания по выполнению лабораторной работы:

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

менного тока

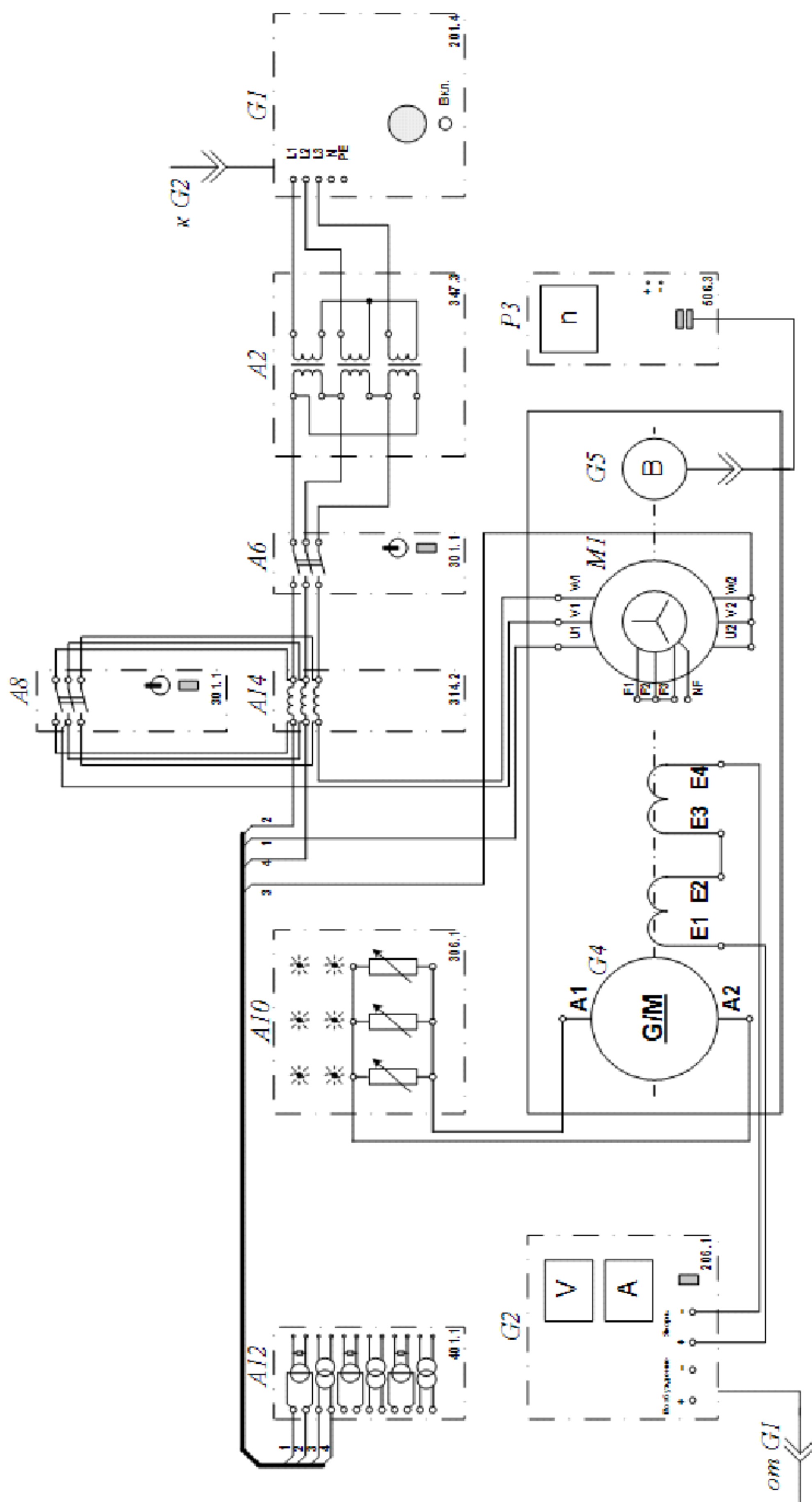
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

- Соедините гнезда защитного заземления "■" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "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

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

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA5000600000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

Цель работы: Анализ процесса самозапуска асинхронного электродвигателя.

Основы теории:

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

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

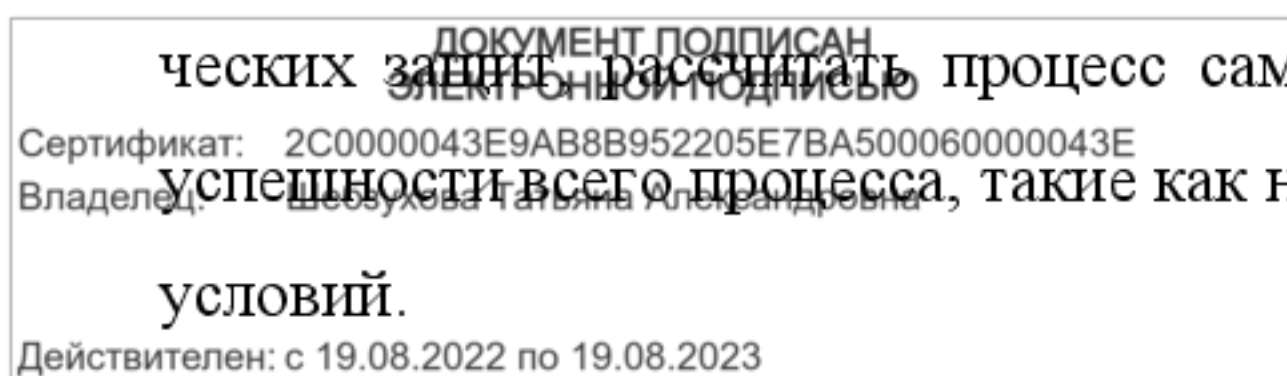
- Отключение рабочего ввода (трансформатора, линии) из-за повреждения на шинах (короткое замыкание) или вследствие отказа выключателя.
- Продолжительное снижение напряжения на шинах, что вызывает срабатывание АВР действием ЗМН или АПВ.
- Отключение электрооборудования самопроизвольно или вследствие ошибки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

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

При успешном самозапуске 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 успешности всего процесса, такие как начальное напряжение и выполнение определенных условий.



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

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

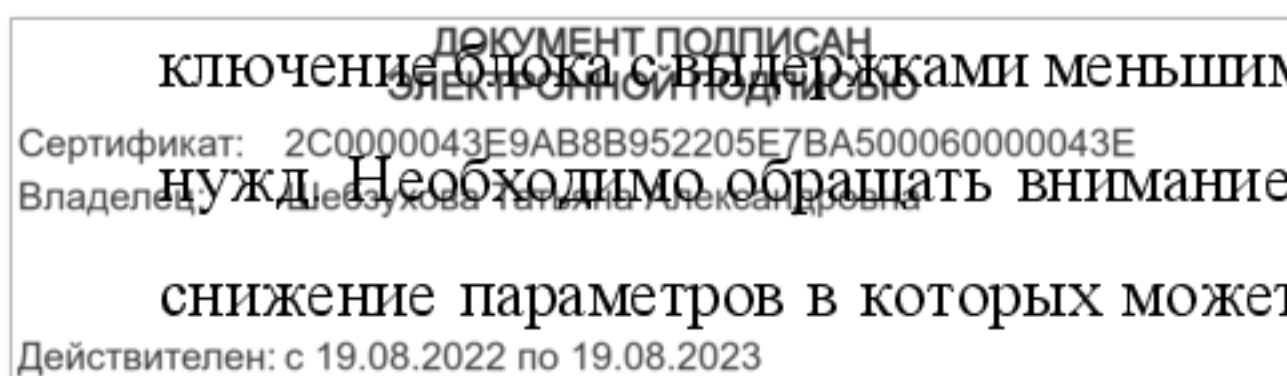
Список ответственных механизмов утверждается главным инженером предприятия, но в общем случае, к таким агрегатам относятся самые мощные ПЭНы, сетевые насосы, тягодутье котлов (дымососы и вентиляторы котлов), дымососы рециркуляции, конденсатные насосы, циркуляционные насосы. Самые ответственные механизмы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

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

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

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

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



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

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

Правильный выбор уставок технологических защит и их согласование с электрическими защитами позволит предотвратить отключение 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 А	ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат:	2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023	

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.

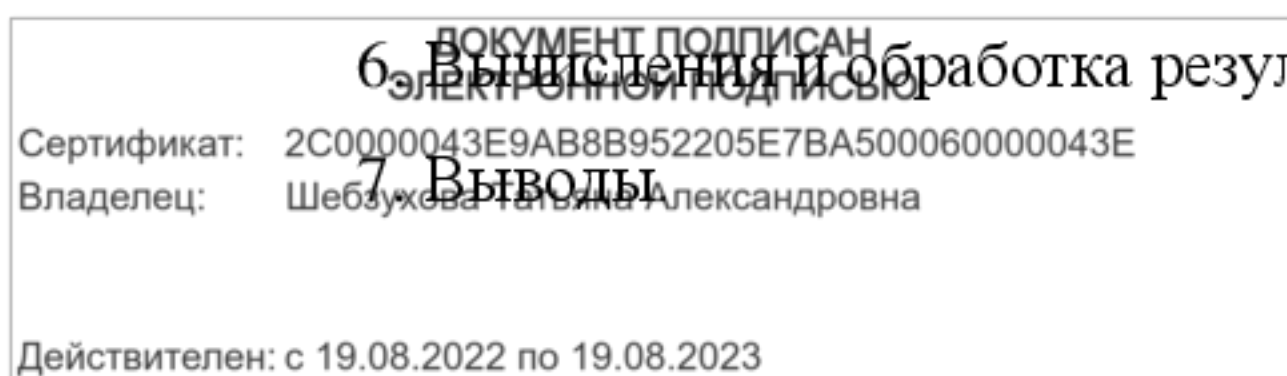
Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;

6. Вычисления и обработка результатов;

7. Выводы.



Контрольные вопросы:

1. Как вращаются друг относительно друга магнитное поле и ротор в трёхфазном асинхронном двигателе?
2. Как осуществить реверсирование асинхронного двигателя?
3. Чему равно скольжение асинхронного двигателя в первый момент после переключения фаз (при реверсе)?
4. Какие существуют способы пуска трёхфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором?

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

Цель работы: 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.

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.

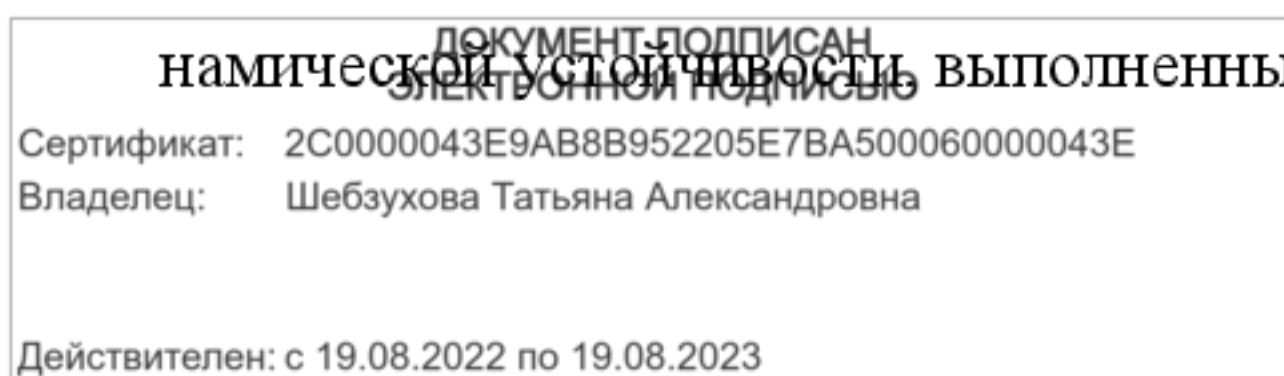
Расчет статической и динамической устойчивости выполняется для:

- 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.

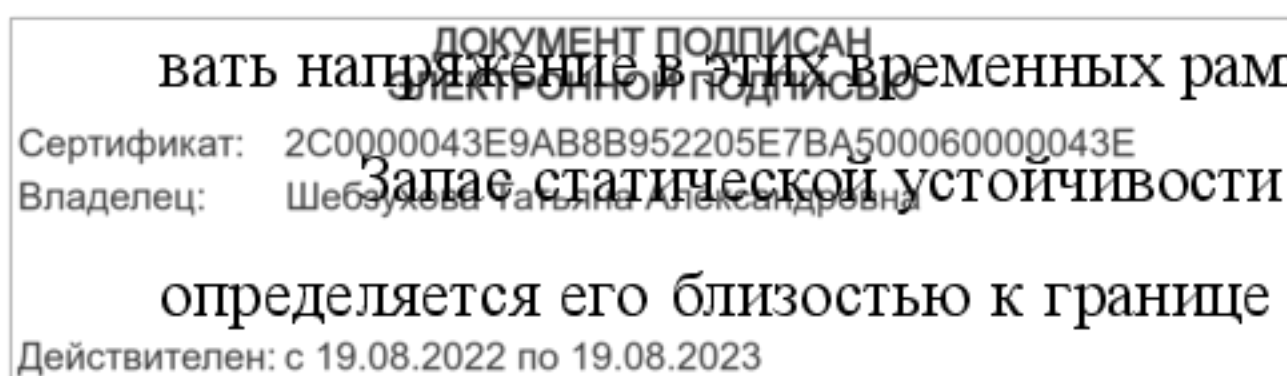
ОСП должен настроить оборудование, релейная защита и противоаварийная автоматика таким образом, чтобы при ликвидации нарушений, способных привести к широкомасштабной потере устойчивости системы, был меньше, чем критическое время устранения повреждений, исчисленный ним при анализе динамической устойчивости.

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 контролировать

напряжения в этих временных рамках.

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



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

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

Во время эксплуатации для контроля за соблюдением нормативных запасов статической устойчивости следует, как правило, использовать значение перетоков активной мощности. При необходимости задают как функции перетоков в других сечениях максимально допустимые и 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: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шабункова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

Указания по выполнению лабораторной работы:

- **ВНИМАНИЕ!** ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ВЫПОЛНЯЕТСЯ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДВУХ ЛАБОРАТОРНЫХ СТОЕК «Модель электростанции №1» и «Модель электростанции №2». Собрать схему лабораторных испытаний в соответствии с рис.7.1 (питание стенда должно быть ОТКЛЮЧЕНО!). Модуль ввода-вывода используется для измерения фазных токов и напряжений. Для этого, измерительные каналы тока 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).

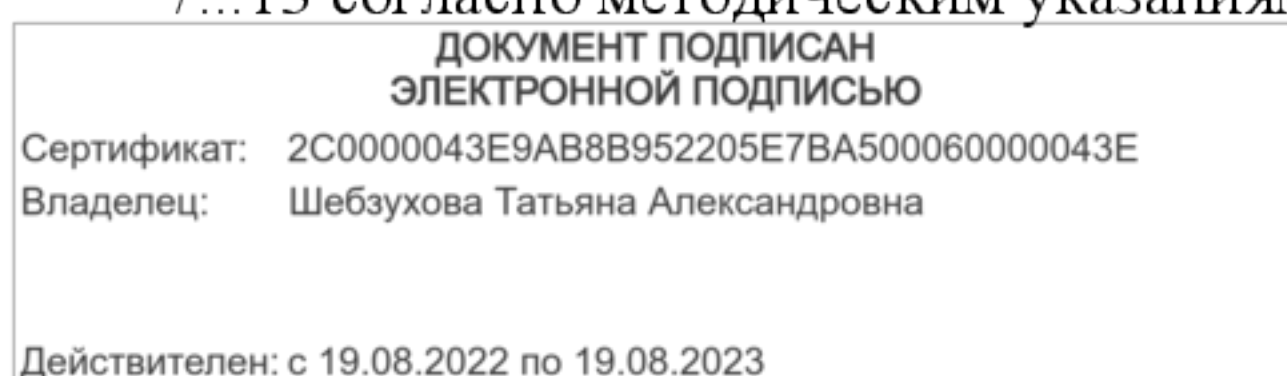
- Перевести переключатели режима управления всех задействованных блоков в положение «Руч». Установить потенциометры задания RP1 модуля частотного преобразователя и модуля возбуждения в крайнее левое положение.

- 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.

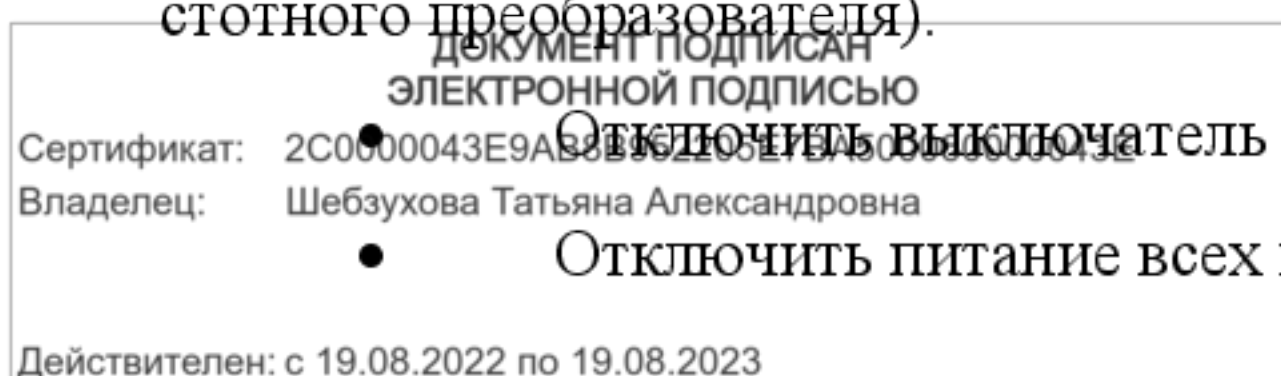
- Включить генератор на параллельную работу с сетью (выполнить пункты 7...13 согласно методическим указаниям к лабораторной работе №3).



- 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 выключатель Q7.
- Отключить питание всех модулей.



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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

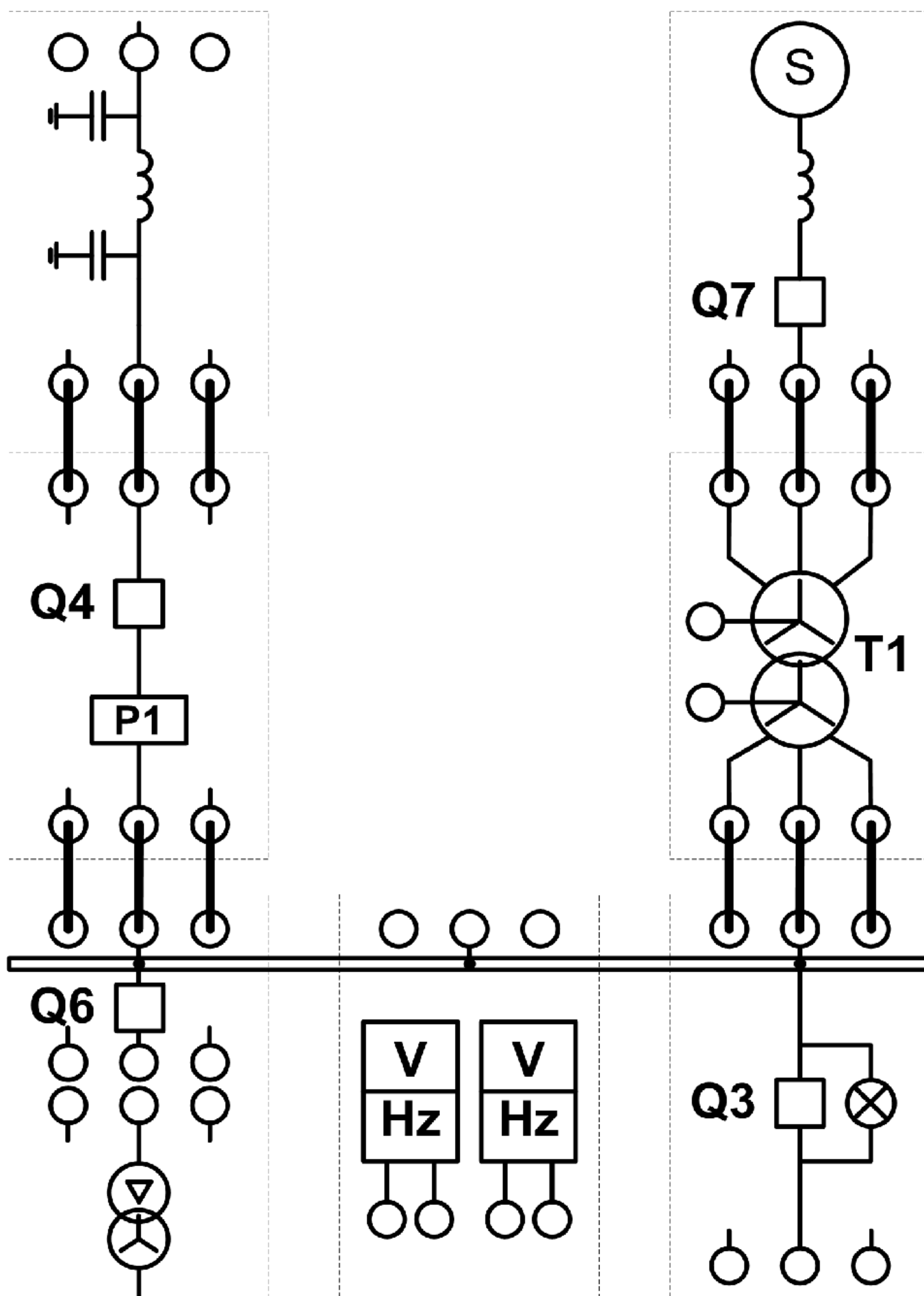


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема лабораторной стойки №1

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA5000600000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

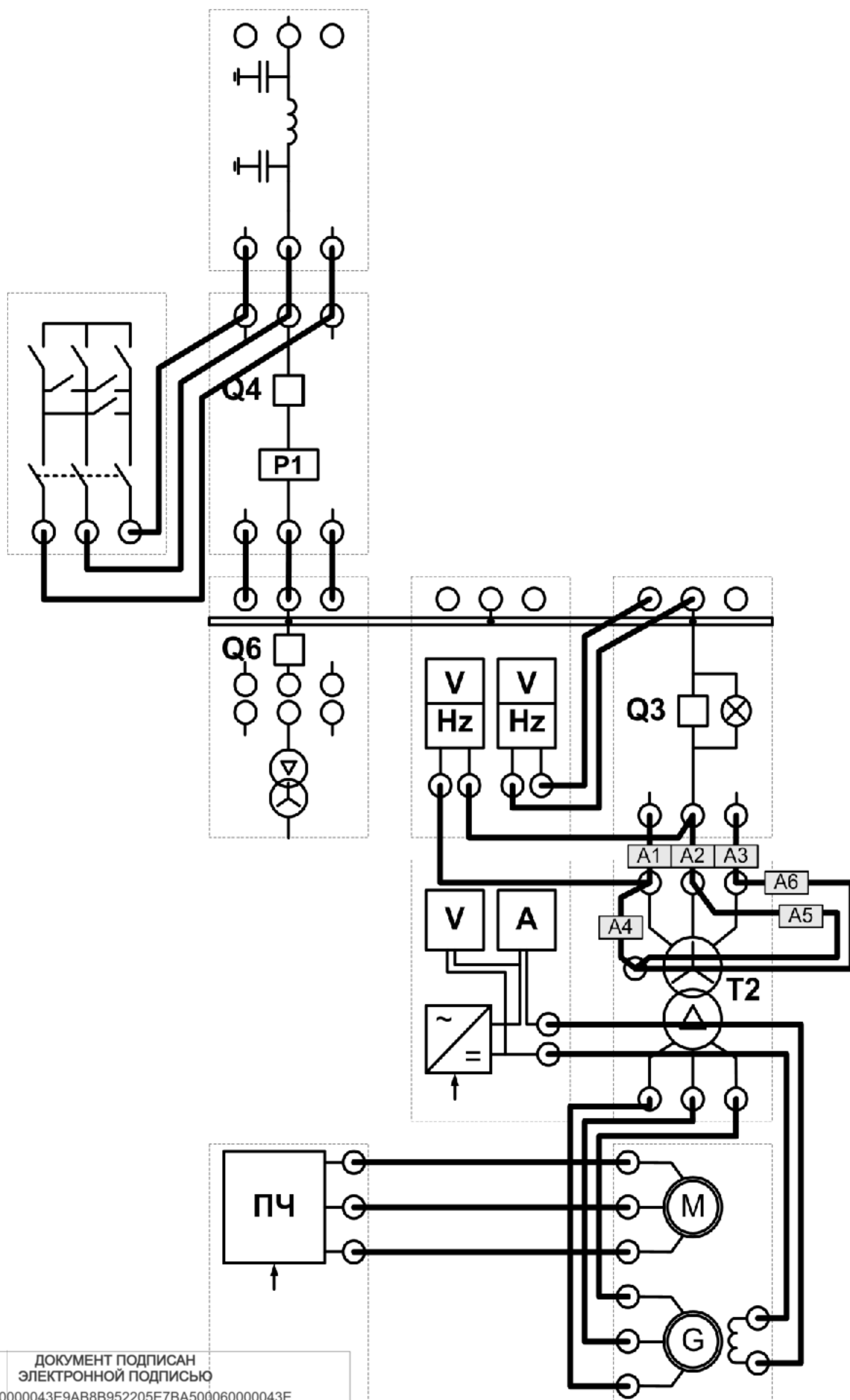


Рисунок 7.2 – Принципиальная схема лабораторной стойки №2

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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. Мониторинг и диагностика оборудования подстанций. Определение соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети, питающейся от источника практически бесконечной мощности.

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

Основы теории:

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

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

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

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

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

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

нагрузку. ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебукова Татьяна Александровна

Короткое замыкание делит цепь на две части:

- правую - с сопротивлениями r_1 и $x_1 = \omega L_1$ в каждой фазе

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

- 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.

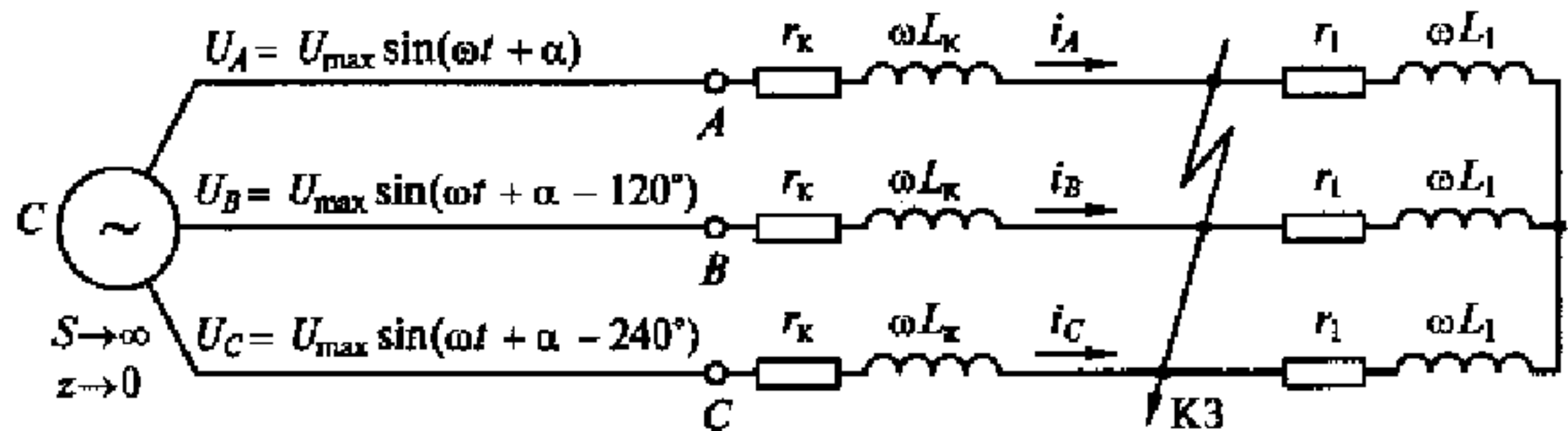


Рисунок 8.1 – Трехфазное КЗ в цепи, питающейся от источника бесконечной мощности

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 :

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA5000600000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

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

$$I_{at} = i_{at}$$

- полного тока КЗ

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

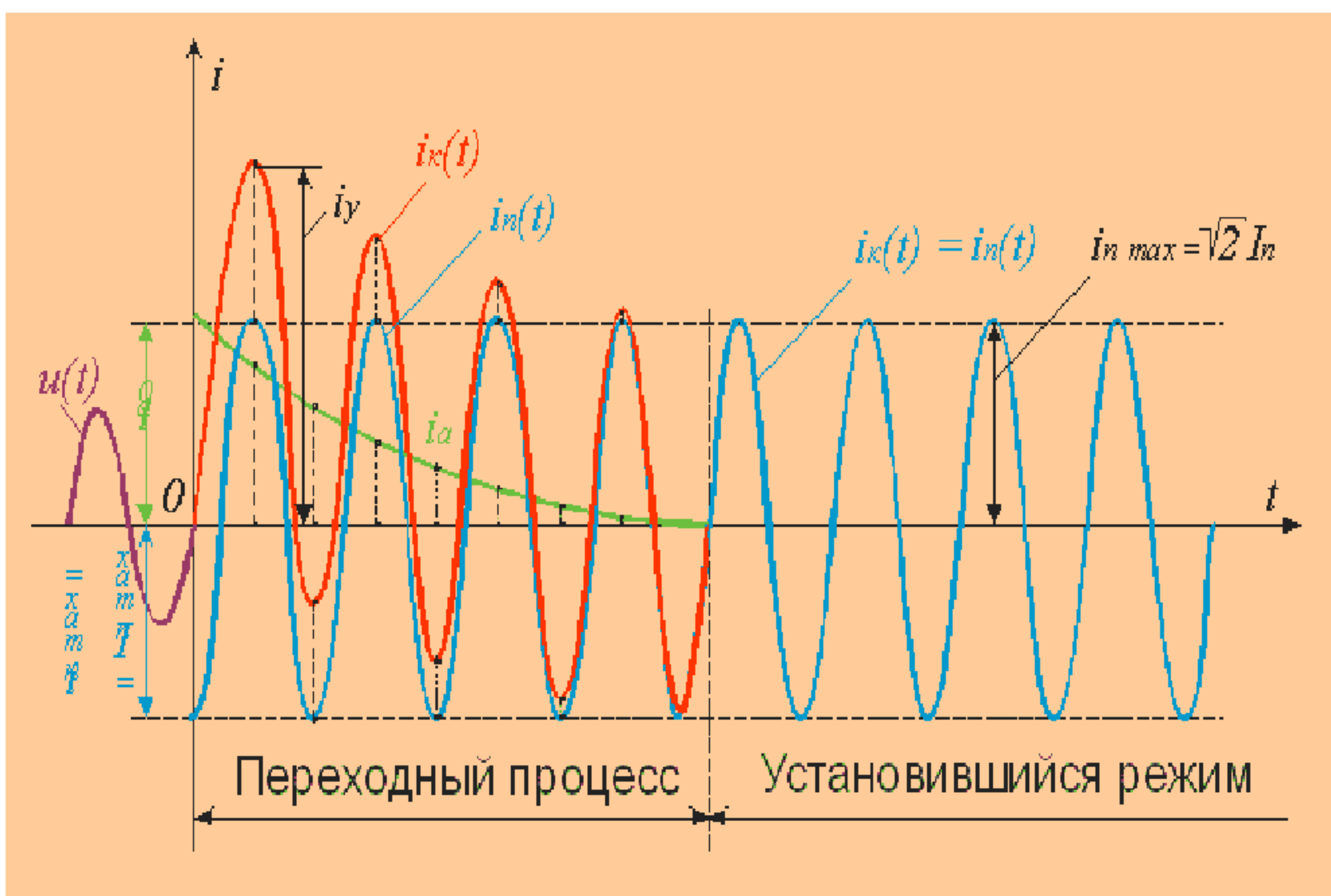


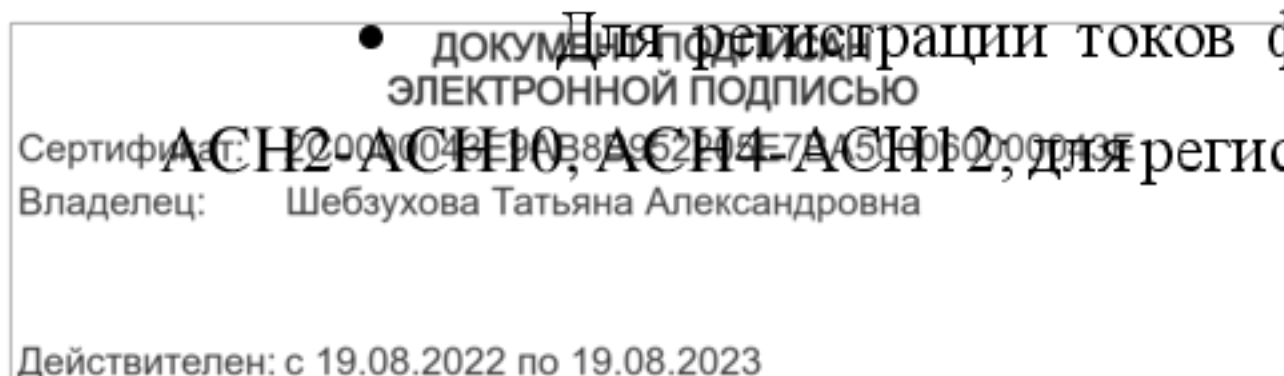
Рисунок 8.2 – Изменение тока трехфазного короткого замыкания и его составляющих для случая возникновения максимального значения апериодической составляющей

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.
- Для регистрации токов фаз выберите сканирование каналов ACH0-ACH8, ACH2-ACH10, ACH4-ACH12, для регистрации напряжений выберите каналы ACH1-ACH9,



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.**

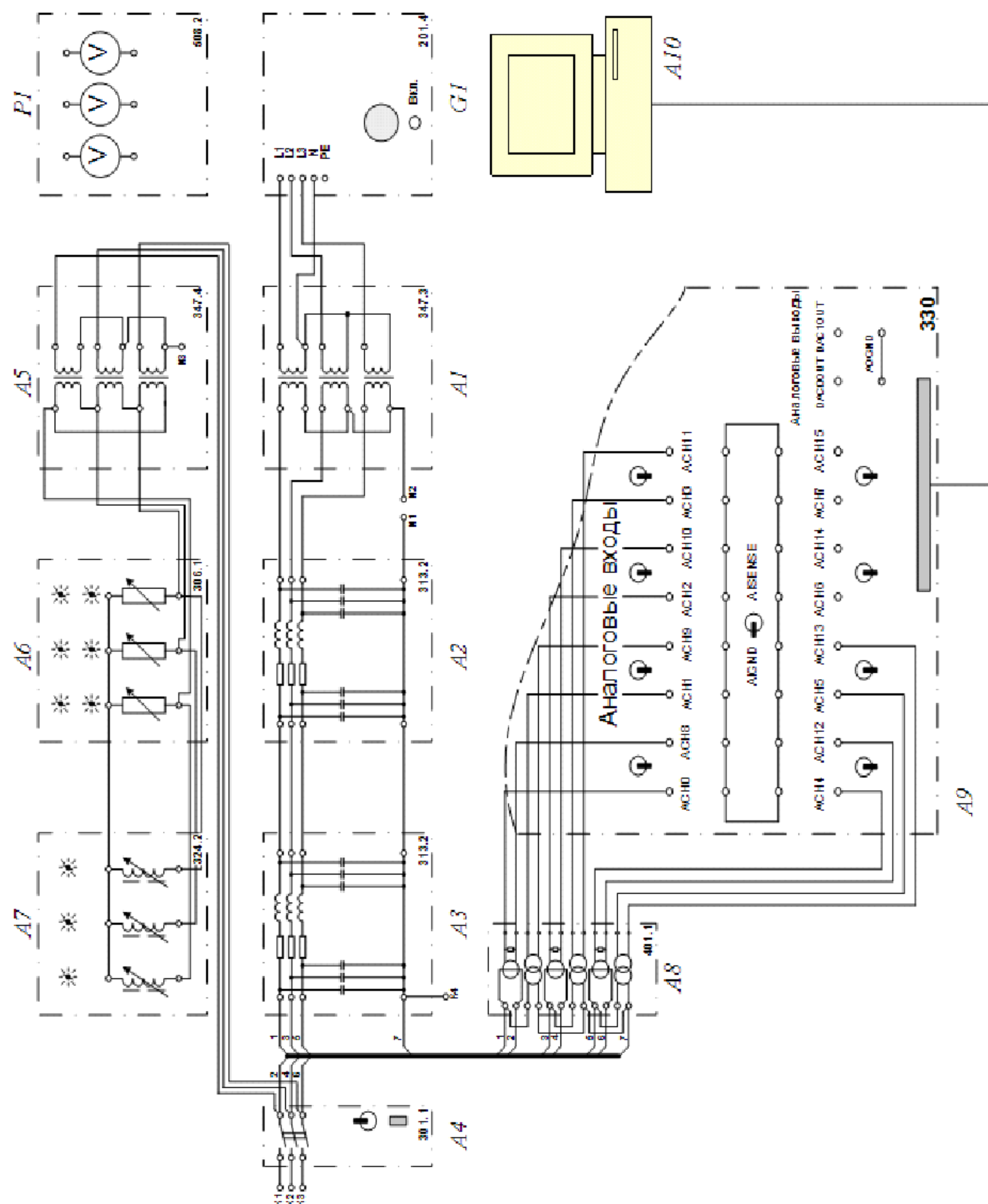


Рисунок 8.3 – Принципиальная схема исследования соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

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

Сертификат: 2C0000643E9AB8B9E2205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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 нейтральными?
7. Каковы преимущества и недостатки сетей с изолированными, компенсированными, эффективно заземленными и глухо заземленными нейтральными?
8. Какое воздействие на электрооборудование вызывает ток КЗ?

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

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

Основы теории:

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

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

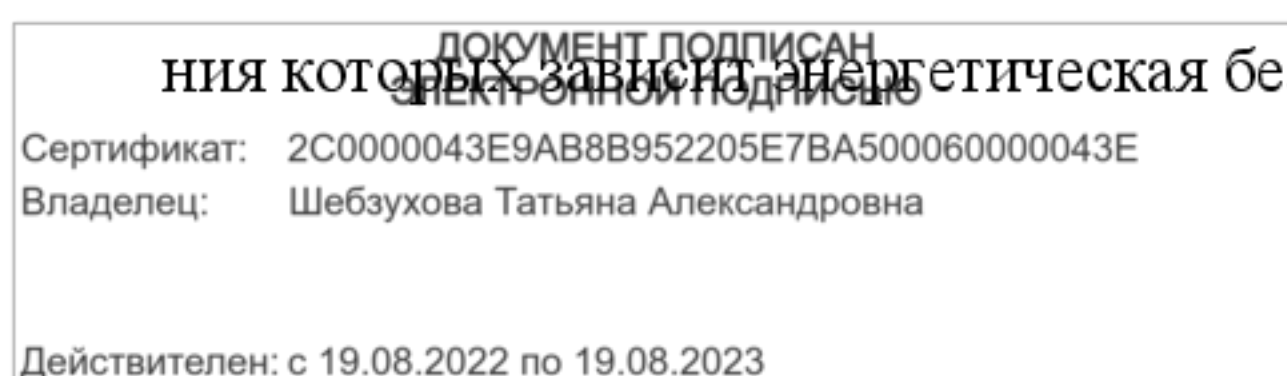
Все службы отдельных предприятий управляются центральной диспетчерской системой. В зависимости от величины энергосистемы центральная диспетчерская система может разделяться на отдельные системы по регионам страны.

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

Задачи оперативно-диспетчерского управления энергосистемой:

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

находится в его оперативном ведении.

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

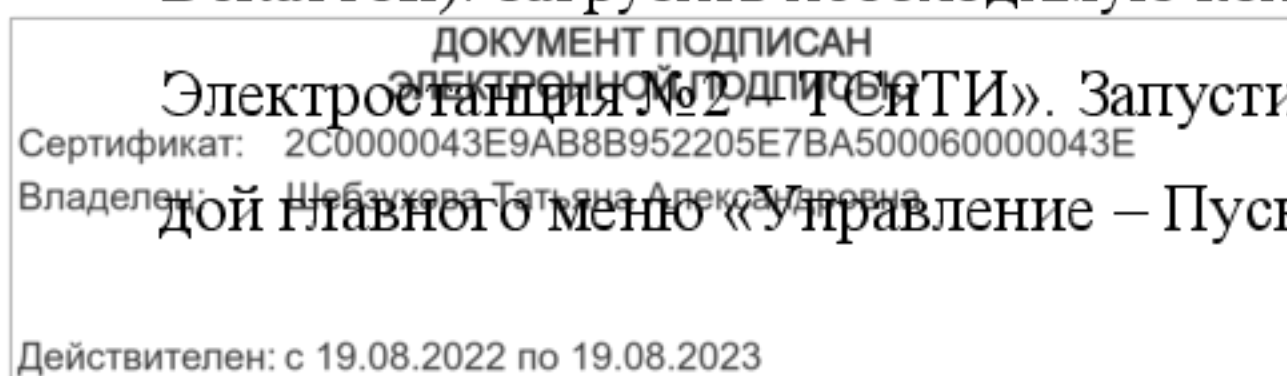
Для организации процесса ОДУ разрабатываются и согласовываются между собой инструкции, указания и различная документация для каждого отдельного подразделения в соответствии с уровнем, к которому относится та или иная оперативная служба. Для каждого уровня системы ОДУ имеется свой индивидуальный перечень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

Указание по технике безопасности:

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

Указания по выполнению лабораторной работы:

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



- Исследовать работу электроэнергетической сети в режиме одностороннего питания. Для этого, дистанционно включить выключатели Q6 и Q7 электростанции №1 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции). Аналогичным образом включить выключатель Q6 на электростанции №2. На централизованном комплексе диспетчерского управления подать команды на включение выключателей линии электропередачи W1 со стороны электростанции №1 и №2. Записать текущие значения режимных параметров на электростанциях и ЦКДУ.

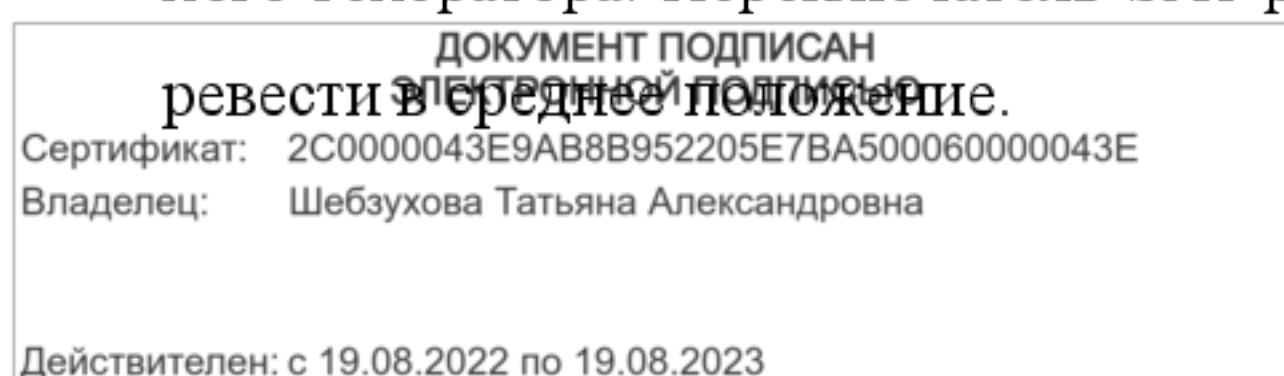
- Включить выключатели линии электропередачи W2, подачей дистанционных команд с локальных комплексов управления станциями №1 и №2. Записать изменившиеся значения режимных параметров.

- Исследовать работу электроэнергетической сети в режиме двухстороннего питания. Для этого, перевести тумблер SA1 разрешения работы частотного преобразователя в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, задать уставку по частоте 50Гц, соответствующую частоте вращения приводного двигателя 1500 об/мин. Подать дистанционную команду на включение генераторного выключателя Q3. Включить тумблер подачи питания «Сеть» модуля возбуждения. 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 перевести в среднее положение.



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

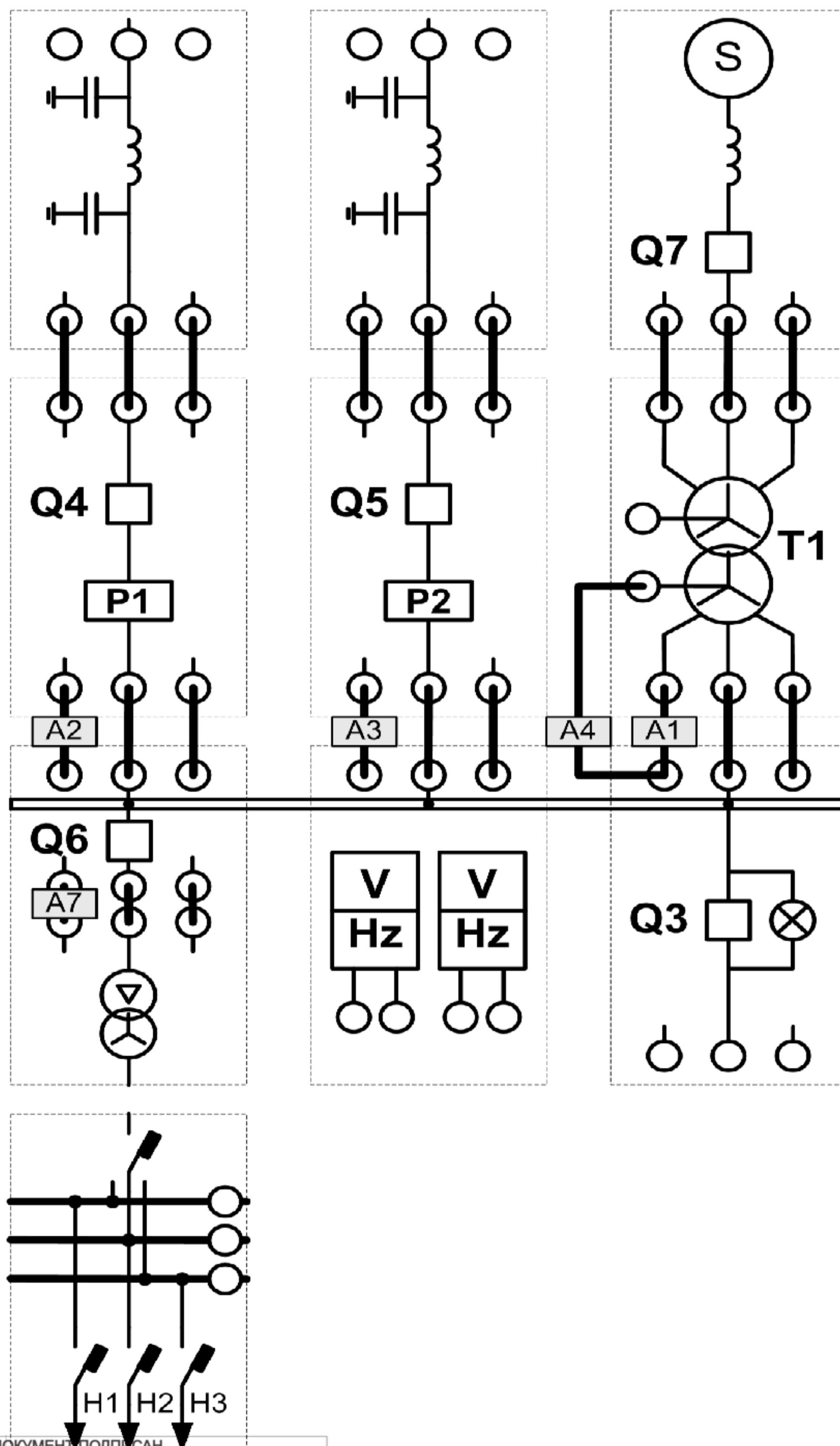
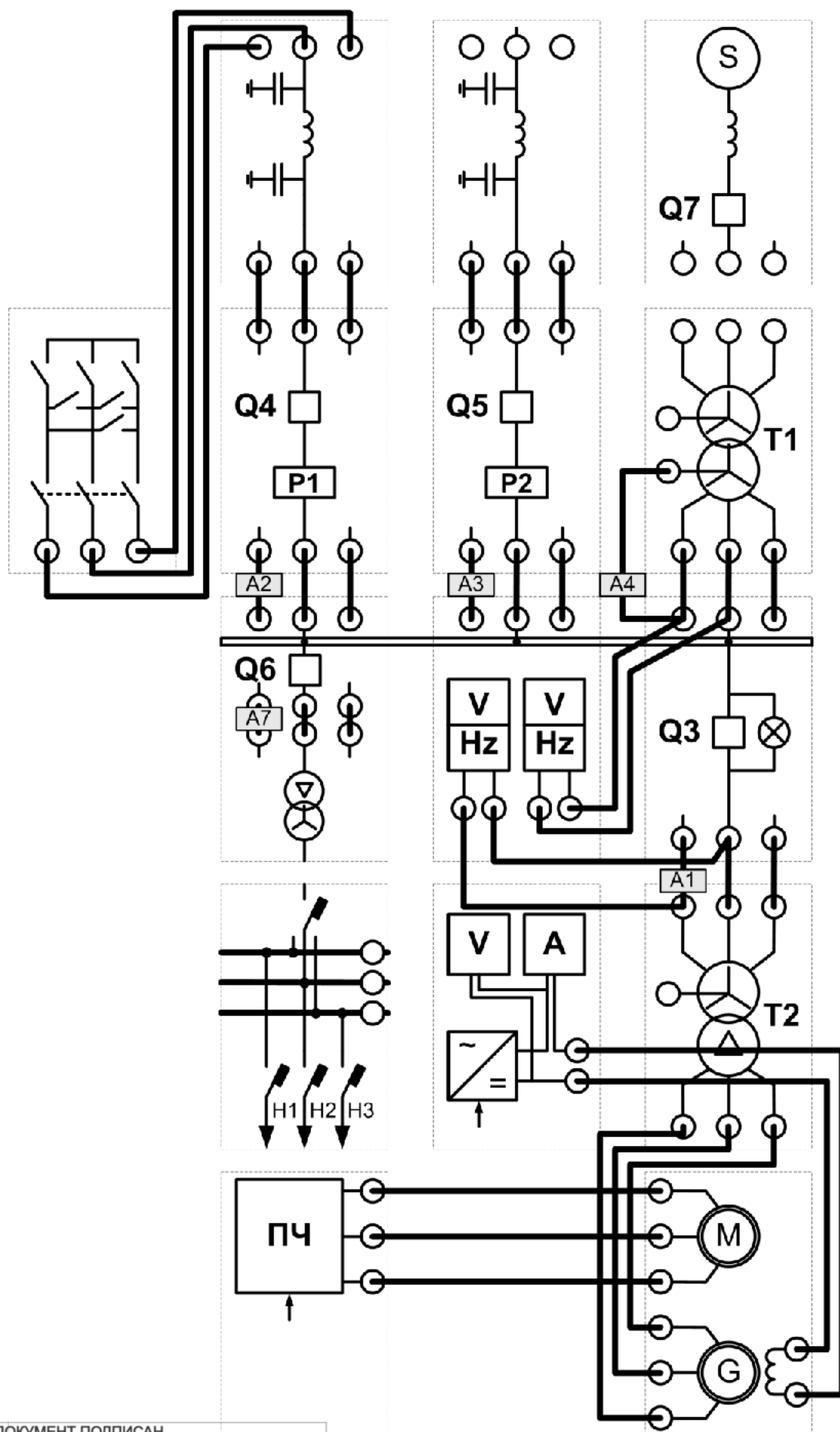


Рисунок 9.1 – Принципиальная схема «Балансирующий узел нагрузкой»

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9P888052205E93A50006168999485
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C000A...
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

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

Контрольные вопросы:

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

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки 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>

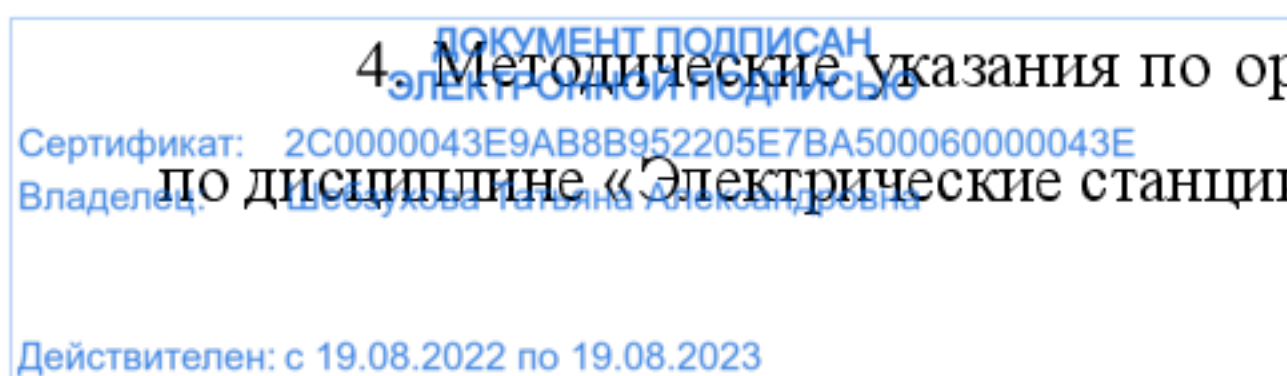
5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

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

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

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

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



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

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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.

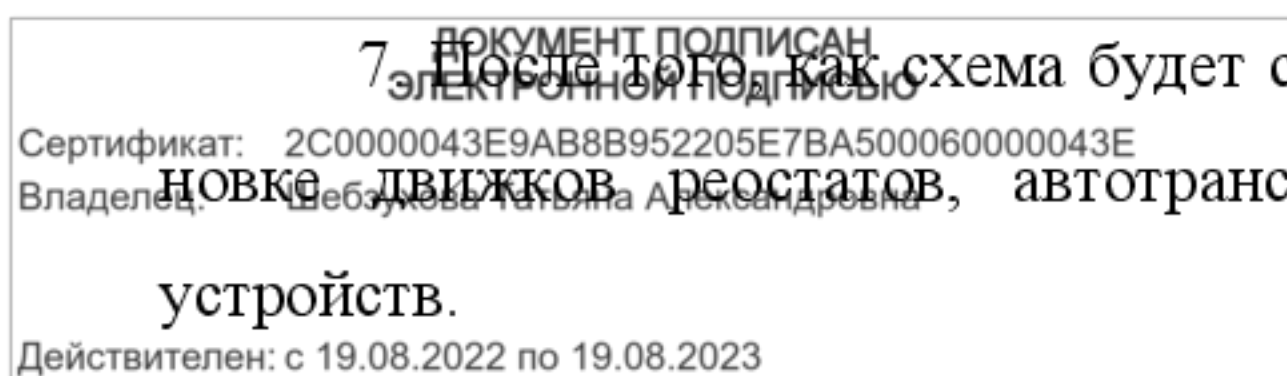
3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

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:

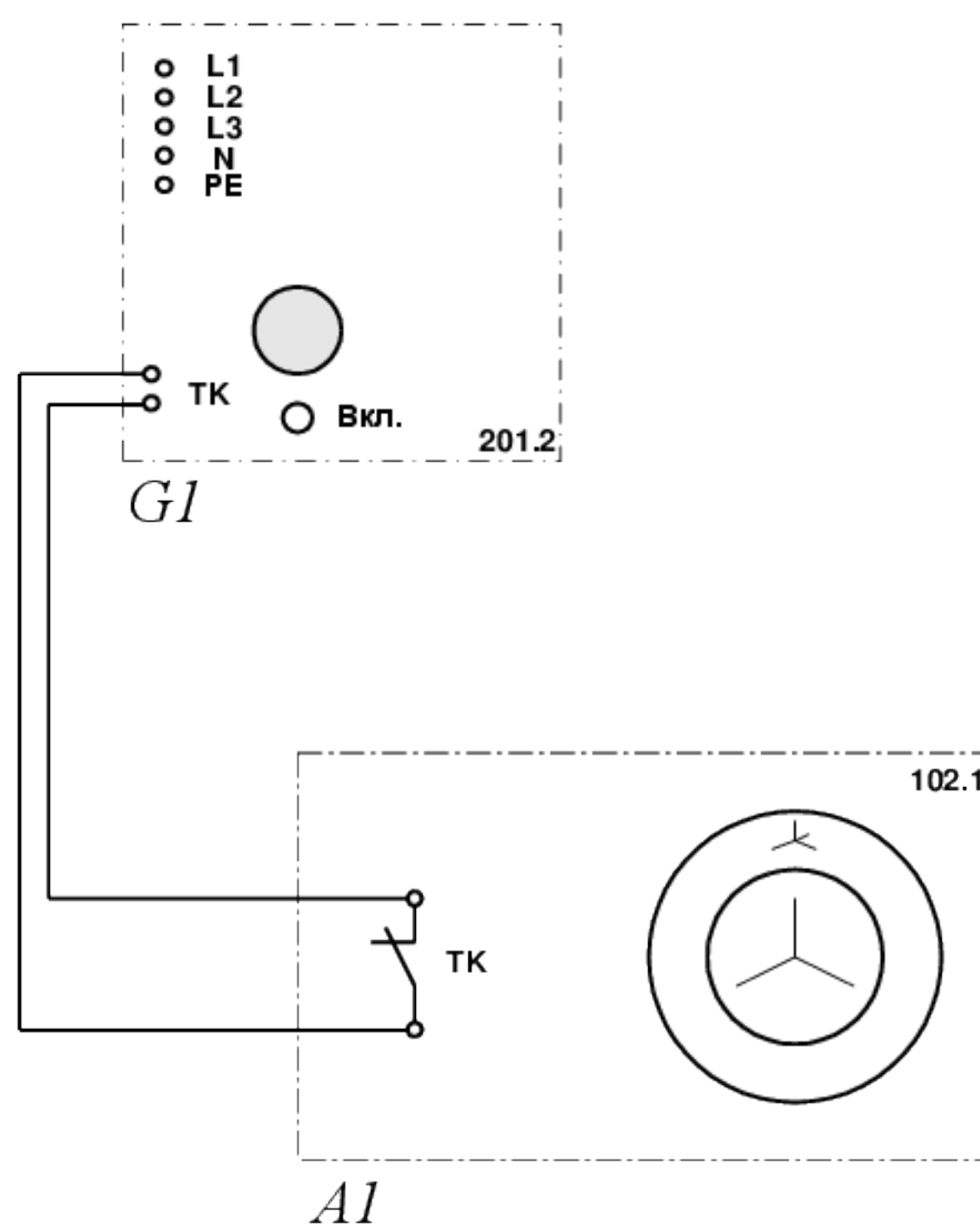
- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от 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: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

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

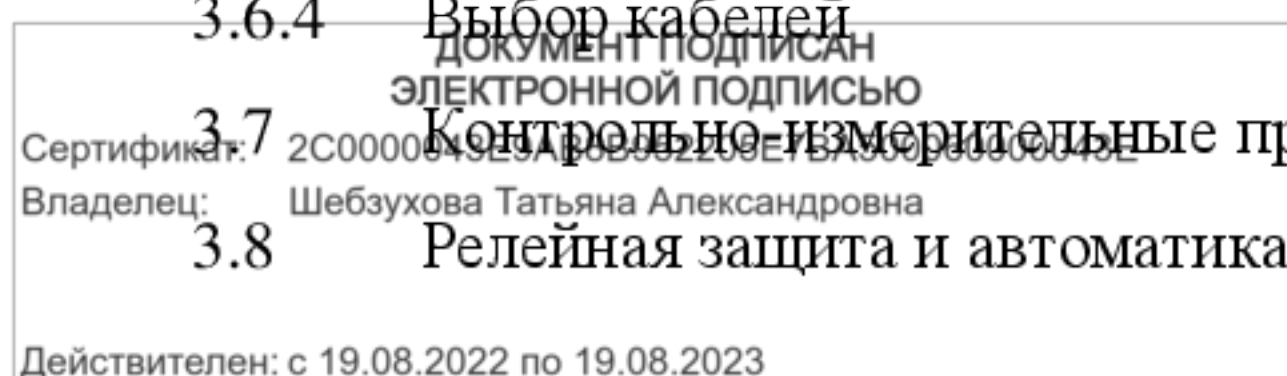
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Содержание

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



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

Введение

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

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

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Цель, задачи и реализуемые компетенции

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

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

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

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

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

Задание на курсовое проектирование

Образец листа задания

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
физики, электротехники
и электроэнергетики

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

ЗАДАНИЕ на курсовой проект

Студента : _____
(фамилия, имя, отчество)

По дисциплине «Электрические станции и подстанции»

1. Тема работы: «Проектирование распределительной понизительной подстанции»

2. Цель: Выполнить проектирование электроподстанции

3. Перечень подлежащих разработке вопросов:

- Разработка структурных схем подстанций.
- Выбор мощности силовых трансформаторов.
- Собственные нужды подстанций.
- Выбор главной схемы электрических соединений.
- Выбор схем распределительных устройств.
- Выбор сечений проводников воздушных линий.
- Проверка по условиям короны.
- Проверка проводов по падению напряжения.
- Расчет токов короткого замыкания.
- Выбор электрических аппаратов.
- Выбор коммутационных аппаратов.
- Выбор измерительных трансформаторов.
- Выбор токоведущих частей распределительных устройств.
- Выбор гибких и жестких шин.
- Выбор силовых кабелей.
- Контрольно-измерительные приборы на подстанциях.
- Релейная защита и автоматика подстанции.
- Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения.

– Охрана труда.

– Технико-экономические показатели подстанции.

– Выполнить 2 листа графической части проекта:

1) однолинейная электрическая схема подстанции;

Сертификат:
Владелец:

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

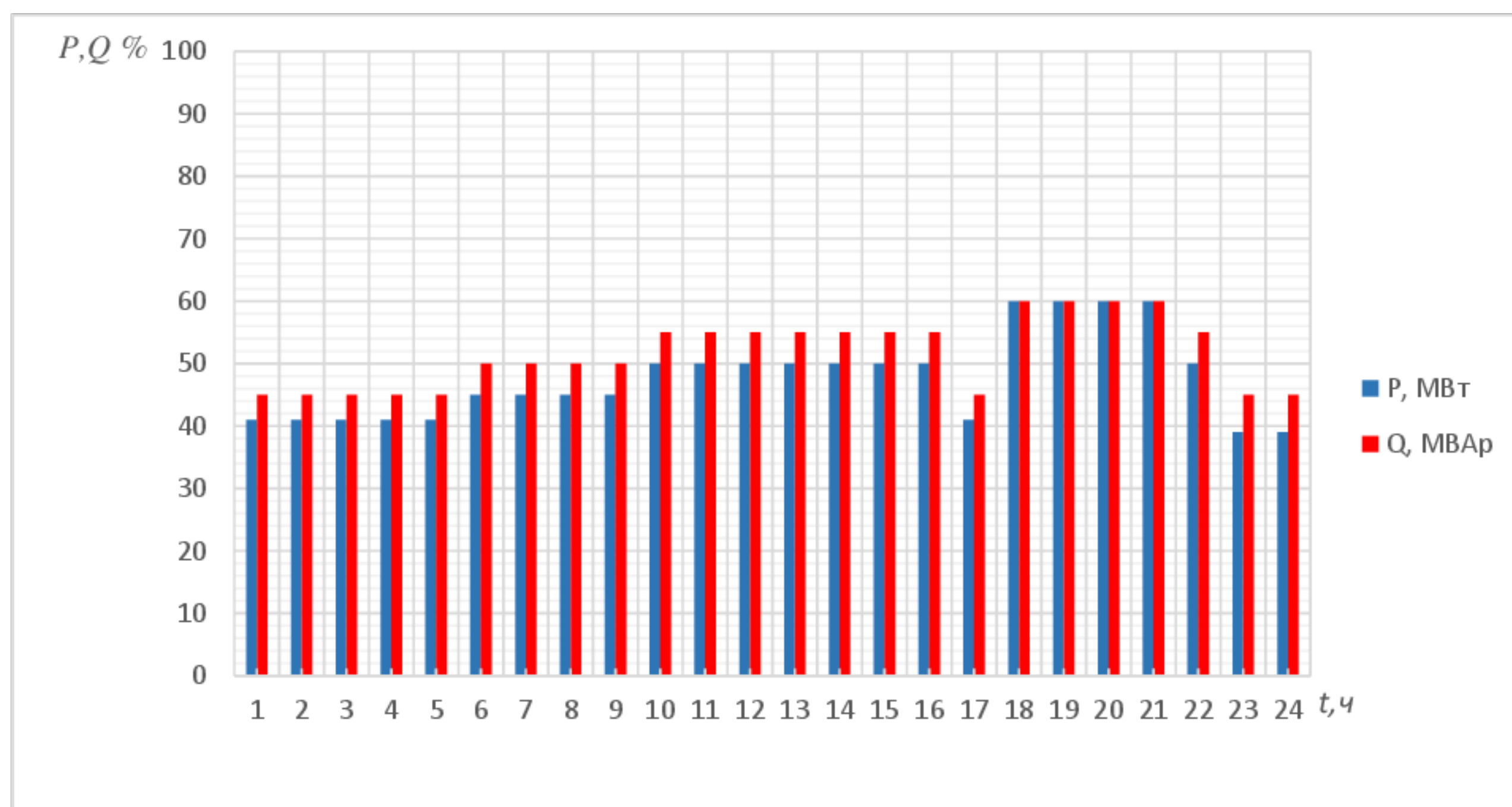
- 2) компоновка подстанции.
4. Исходные данные:
- 4.1 Характеристика проектируемой подстанции:

Вариант – ____

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

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

4.2 Суточный график нагрузки



4.3 Распределительная сеть низкого напряжения проектируемой подстанции

Схема подключения питаемых ТП (РП) – _____,

Время отключения присоединения $t_{рз.выкл.присоед} =$ _____ с,

$P_{макс.(ТП,РП)} =$ _____ МВт,

Число отходящих линий НН подстанции – ____.

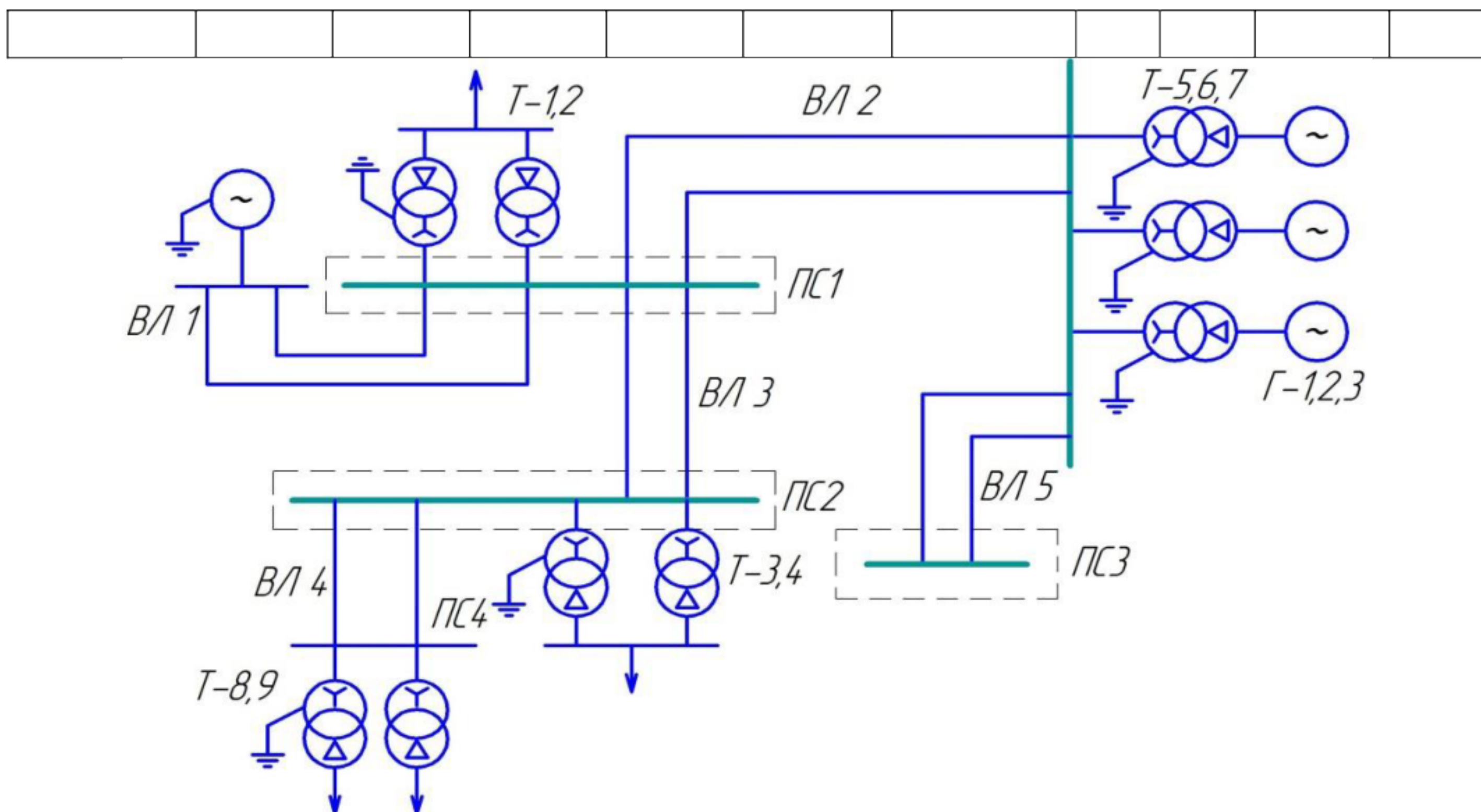
4.4 Схема электропитающей системы

Номер проектируемой подстанции – _____,

Параметры системы

Система:	Линия: длина, км; $X_{уд}$, Ом/км					Генератор МВт	Трансформаторы, МВА			
$S_{кз},$ МВА, x_0/x_1	ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ					Г – 1,2,3	Т - 1,2	Т - 3,4	Т - 5,6,7	Т - 8,9
Сертификат: 2C000004858AB8B952205E7BA500060800043E Владелец: Шебукова Татьяна Александровна	ВЛ-1	ВЛ-2	ВЛ-3	ВЛ-4	ВЛ-5					

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023



5. Перечень рекомендуемой литературы

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

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

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

6. Контрольные сроки представления отдельных разделов курсовой работы:

25% -	« »	20 г.
50% -	« »	20 г.
75% -	« »	20 г.
100% -	« »	20 г.

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

Дата выдачи задания «___»_____ 201__ г.

Руководитель курсового проекта

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

Задание принял к исполнению студент _____ формы обучения _____ курса
_____ группы _____

(личная подпись)(инициалы, фамилия)

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023
--

Структура выполнения курсового проекта

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

Структура курсового проекта состоит из следующих обязательных элементов:

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

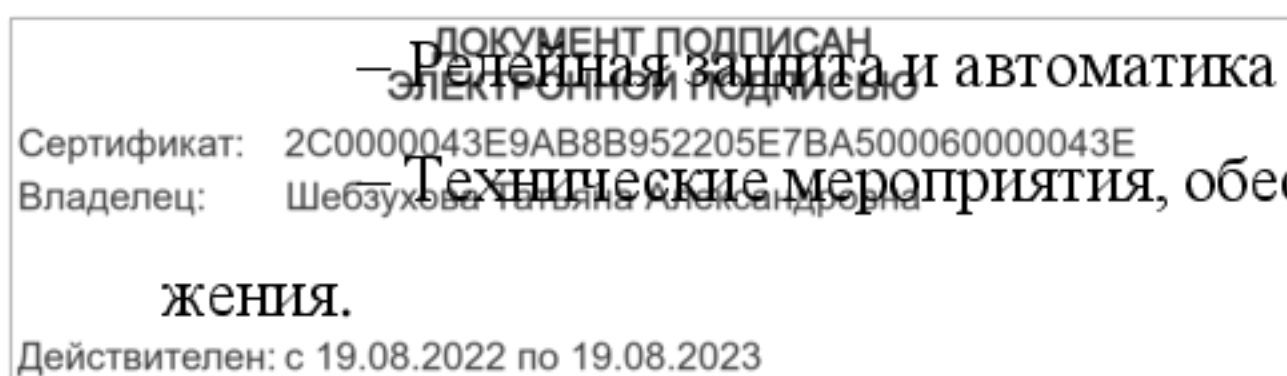
Теоретическая часть должна содержать анализ состояния изучаемой проблемы на основе обзора научной, научно-информационной, справочной литературы. Представленный материал должен быть логически связан с целью исследования. В параграфах теоретической части необходимо отражать отдельные компоненты проблемы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

6. *Часть 2* – Проектная

- Разработка структурных схем подстанций.
- Выбор мощности силовых трансформаторов.
- Собственные нужды подстанций.
- Выбор главной схемы электрических соединений.
- Выбор схем распределительных устройств.
- Выбор сечений проводников воздушных линий.
- Проверка по условиям короны.
- Проверка проводов по падению напряжения.
- Расчет токов короткого замыкания.
- Выбор электрических аппаратов.
- Выбор коммутационных аппаратов.
- Выбор измерительных трансформаторов.
- Выбор токоведущих частей распределительных устройств.
- Выбор гибких и жестких шин.
- Выбор силовых кабелей.
- Контрольно-измерительные приборы на подстанциях.

– Релейная защита и автоматика подстанции.

– Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения.



- Охрана труда.
- Техничко-экономические показатели подстанции.

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

- Однолинейная электрическая схема подстанции;
- Компоновка подстанции.

Список использованных источников и литературы

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

Приложения

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

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

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

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

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТИРУЕМОЙ ПОДСТАНЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПОДСТАНЦИИ

Общие положения

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

Разработка структурных схем подстанций и расчет нагрузки

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

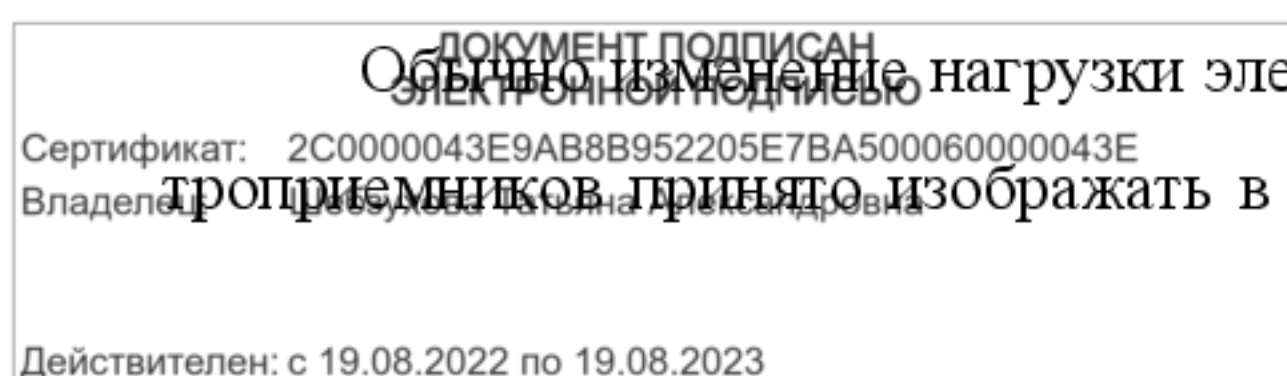
Узловые подстанции не только осуществляют питание потребителей, но и связывают отдельные части энергосистемы. В этом случае на подстанции, кроме РУ низкого напряжения сооружаются РУ высокого и среднего напряжения (СН) и устанавливаются автотрансформаторы (рис.1, б) или трехобмоточные трансформаторы (рис.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

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

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

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

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



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

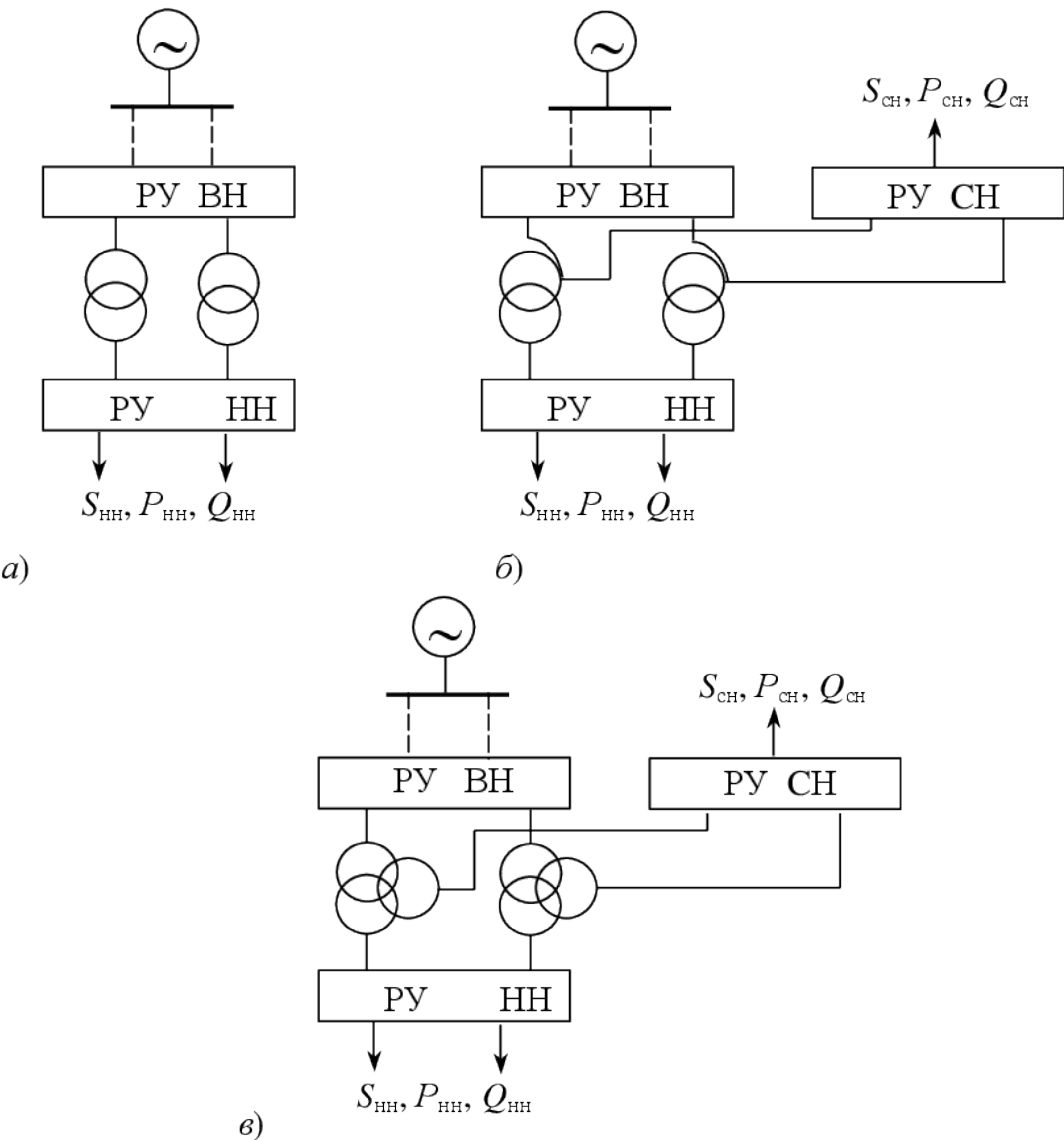


Рисунок 1 – Структурные схемы подстанций

По графику нагрузок определяют максимальную активную и реактивную мощности:

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

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

Максимальная полная мощность:

$$S_{\max} = \frac{W_{\Pi}}{T},$$

где: W_{Π} - показания счетчика полной энергии за то же время T .

Максимальная реактивная мощность:

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

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

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

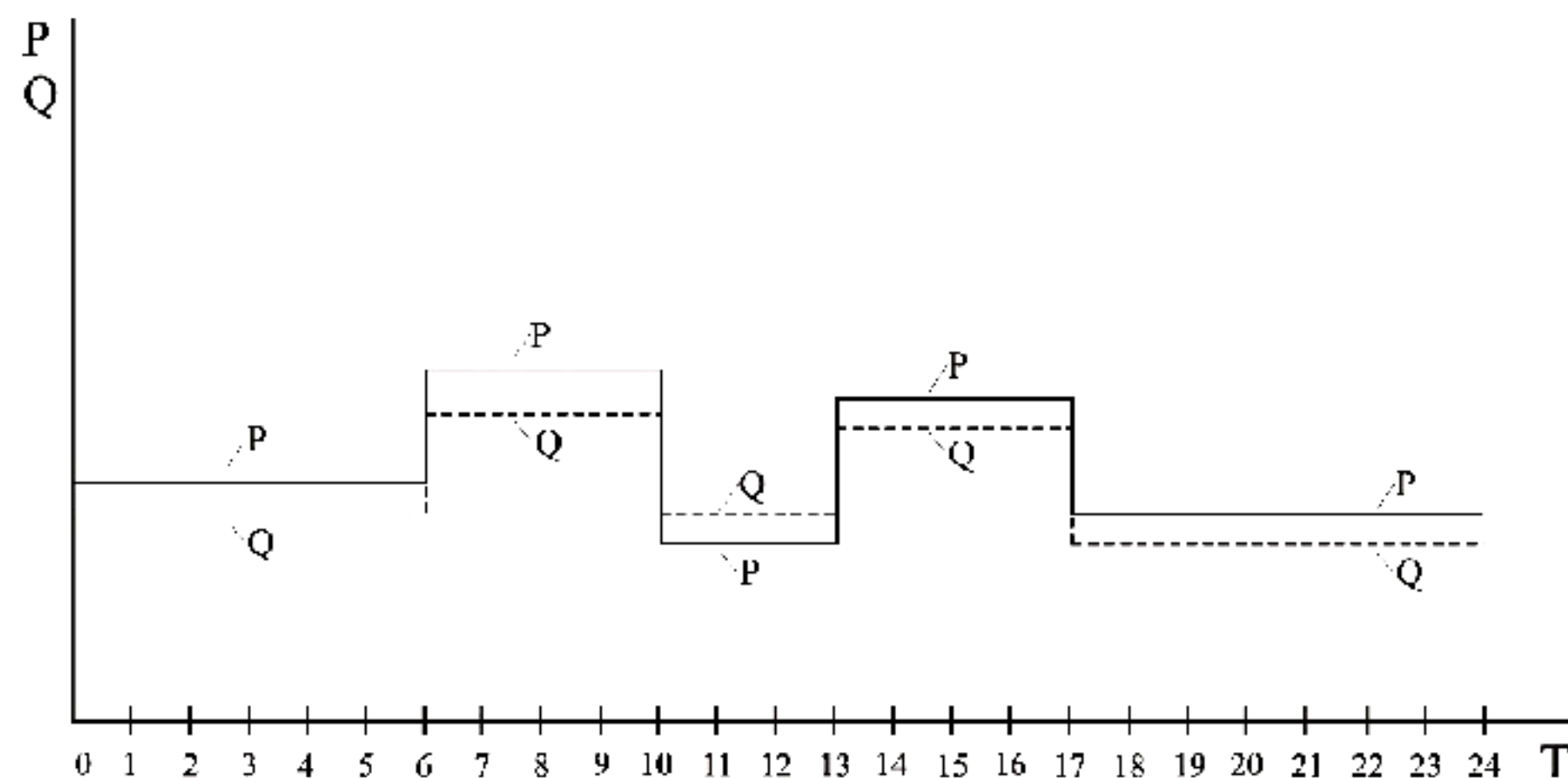


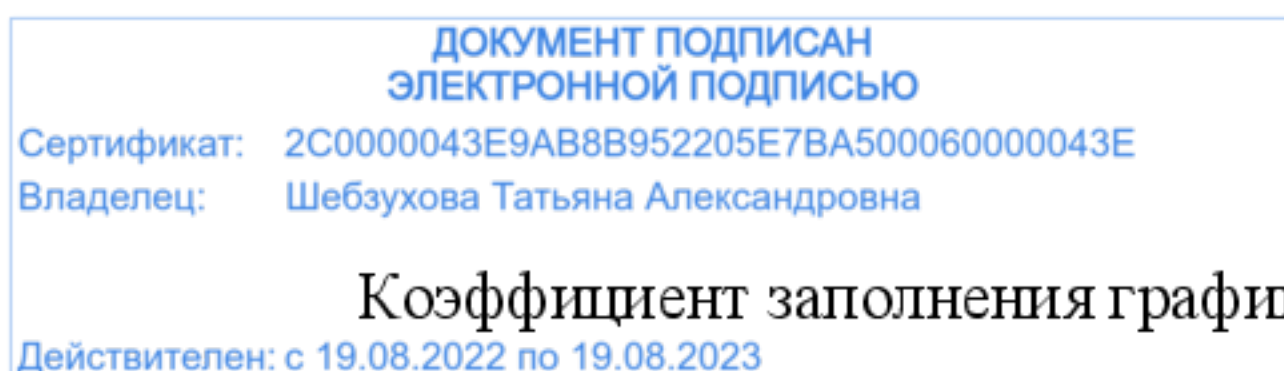
Рисунок 2 – Пример графика суточной активной и реактивной нагрузок подстанции

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

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

Средняя активная мощность за сутки

$$P_{cp} = \frac{W_{a \text{ сут}}}{24}.$$



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

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

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

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

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

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

Таблица 1 – Данные годового графика

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

Пример годового графика нагрузки представлен на рисунке 3.

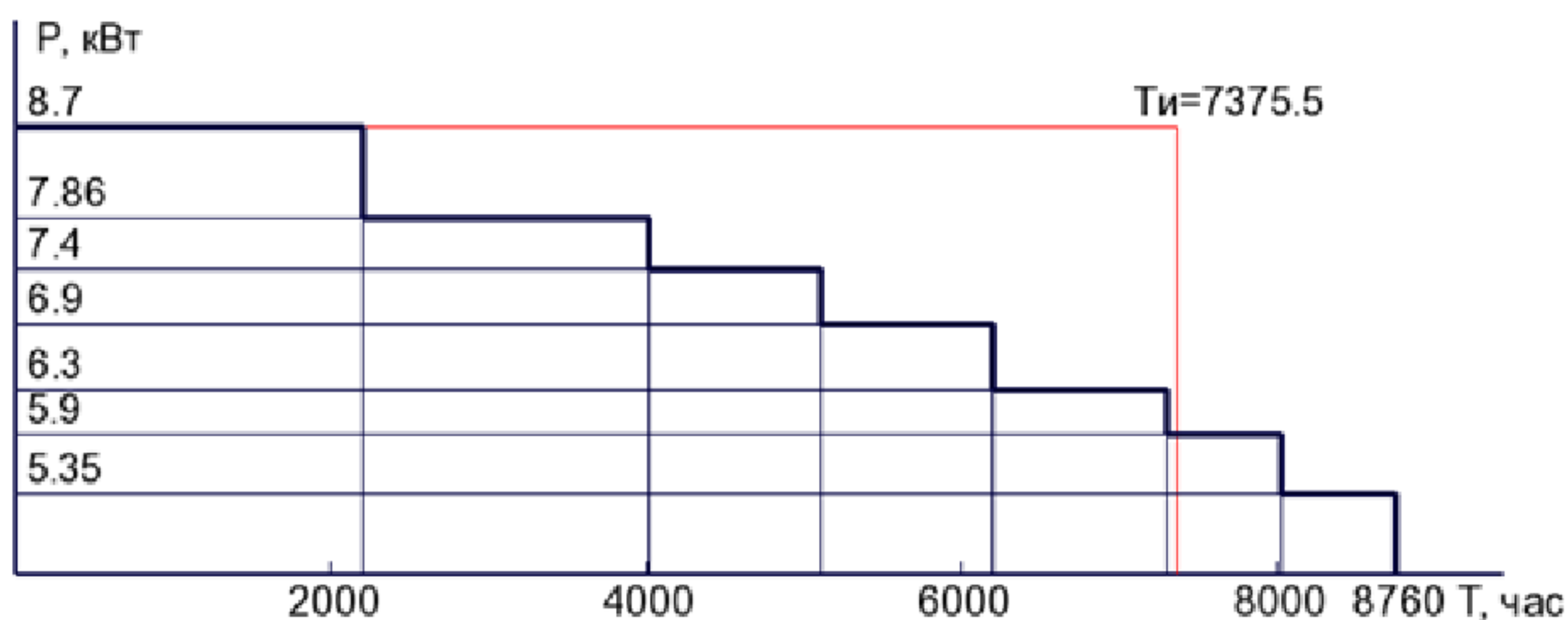


Рисунок 3 – Годовой график по продолжительности

По данным годового графика определим среднюю нагрузку подстанции:

$$P_{\text{ср}} = W_{\text{год}} / 8760 ,$$

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

$W_{\text{год}}$ определяется как :

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

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

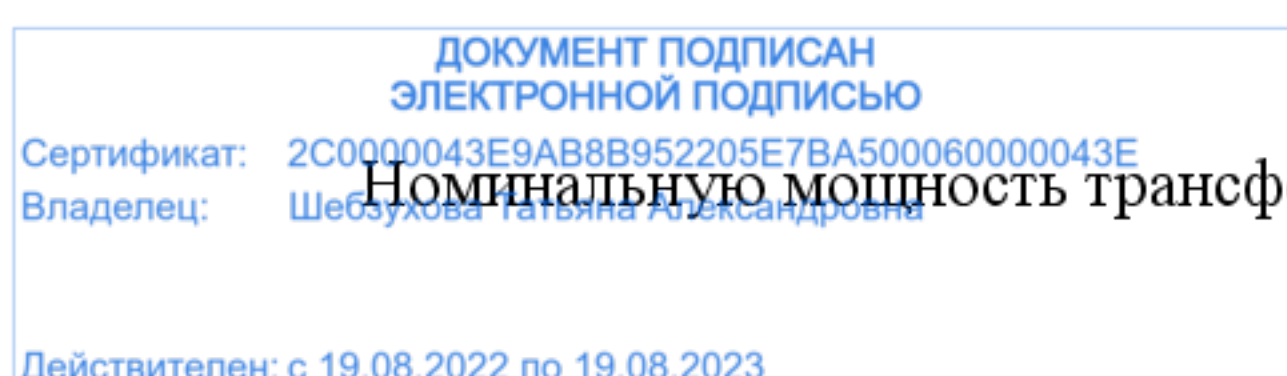
Время использования максимальной активной нагрузки за год:

$$T_{\text{max,a}} = W_{\text{a,год}} / P_{\text{max}}$$

Время максимальных потерь определяется по формуле:

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

Выбор мощности силовых трансформаторов



Номинальную мощность трансформаторов определяют по условию

$$S_{\text{номтр}} \geq \frac{S_{\text{MAX}}}{n \cdot k_3},$$

где n – количество трансформаторов;

k_3 – коэффициент загрузки трансформаторов. Для двух трансформаторной подстанции $k_3 = 0,65 - 0,8$.

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

$$S_{\text{MAX}} \leq S_{\text{номтр}} \cdot k_{\text{пав}},$$

где $k_{\text{пав}} = 1,4$ – коэффициент аварийной перегрузки трансформаторов. Такая перегрузка допускается в течение 5 суток при условии, что коэффициент предшествующей нагрузки k_3 не более 0,93 и длительность перегрузки не более 6 ч.

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

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

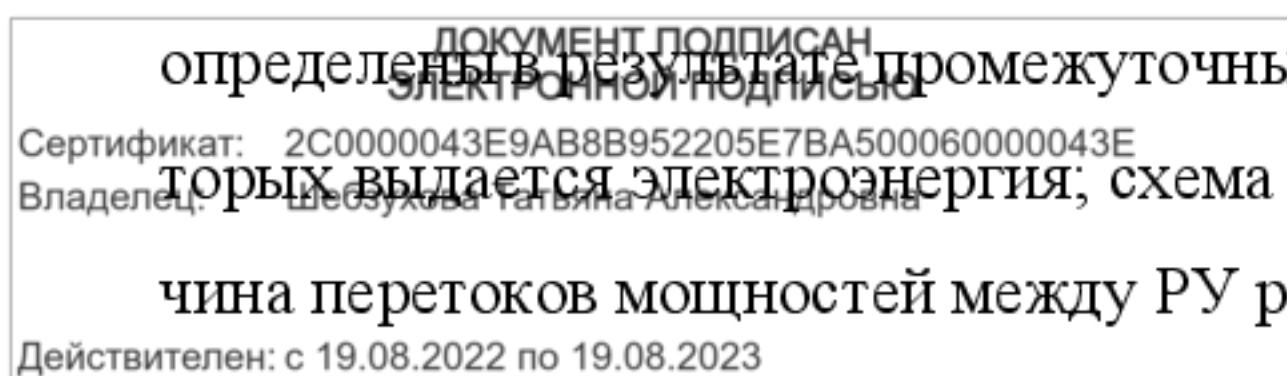
Для ограничения токов короткого замыкания (в случае необходимости) со стороны обмотки низкого напряжения трансформатора может устанавливаться одинарный или двойной реакторы. Методика выбора токоограничивающего реактора изложена в п. 7.

ВЫБОР ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Общие положения

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

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



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

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

- методы ограничения токов короткого замыкания;
- схемы РУ на всех напряжениях;
- основное и резервное питание собственных нужд.

Выбор схем распределительных устройств

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 2

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

Сертификат: 2000900432E743B5B32200E7B43D064900043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

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

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

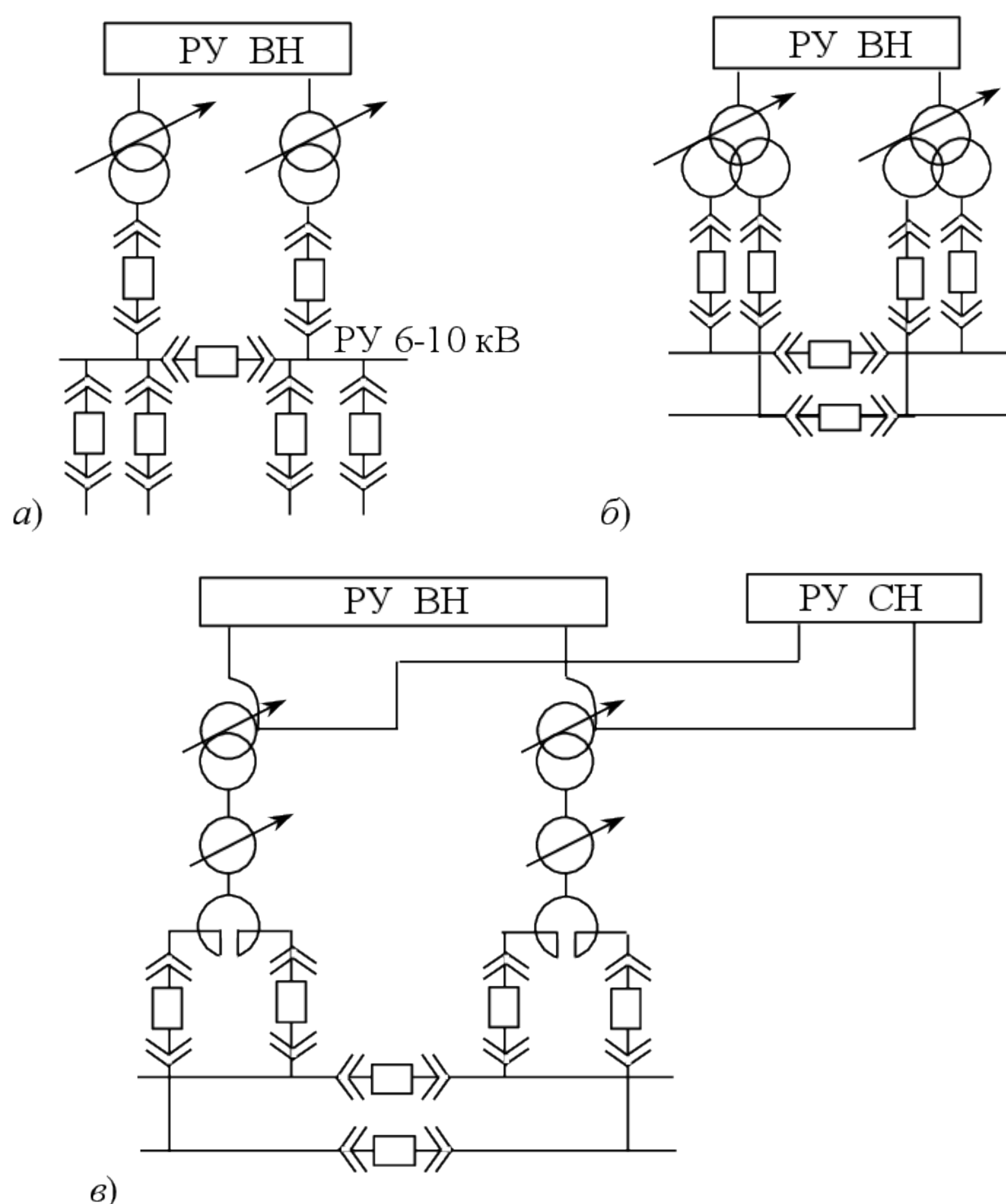
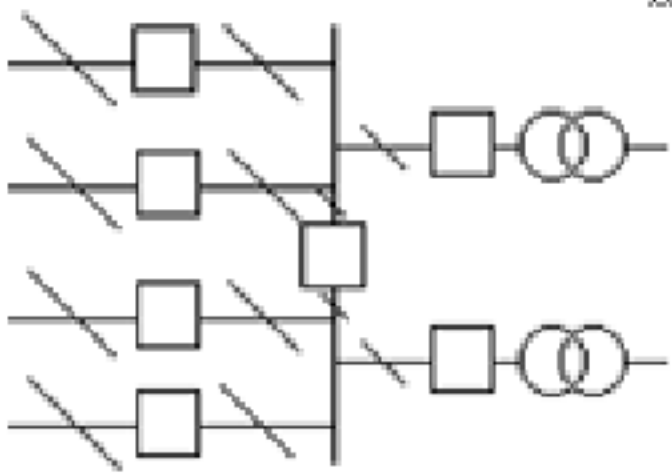
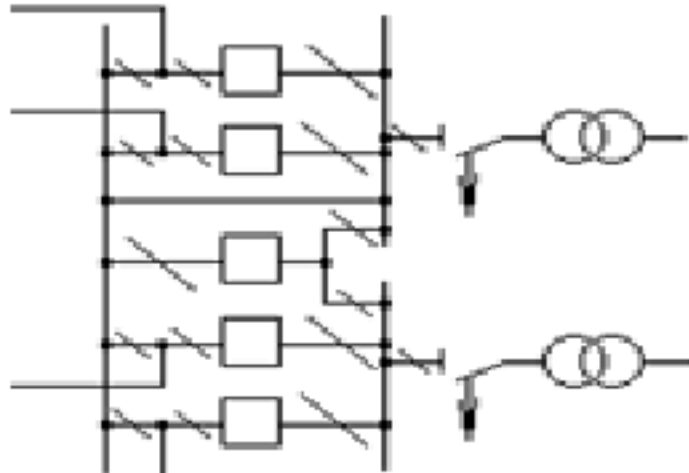


Рисунок 3 – Схемы электрических соединений РУ низкого напряжения

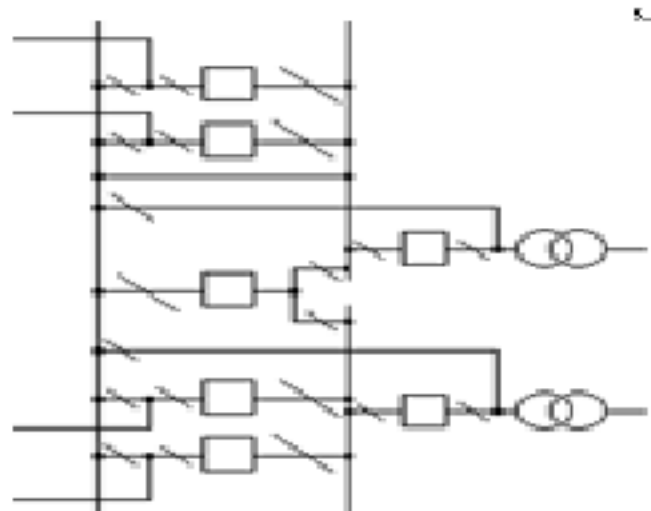
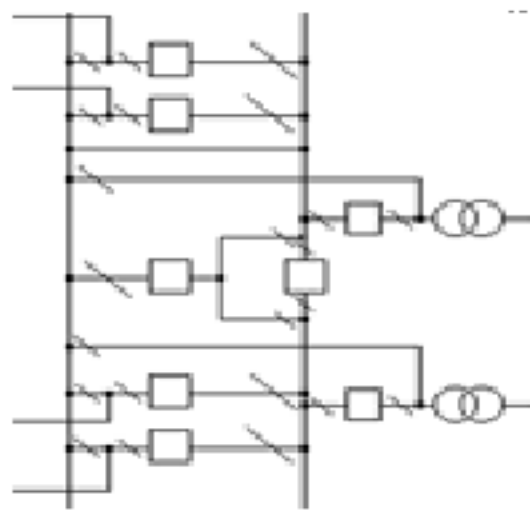
В курсовом проекте рассматриваются возможные варианты схем РУ и в результате технико-экономического сравнения принимают наиболее рациональную схему. При прочих равных условиях предпочтение отдается схеме, в которой отключение цепей осуществ­ляется меньшим числом выключателей.

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

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
0000043E9AB8B95235E7F5500060000043E
Безухова Татьяна Александровна

3

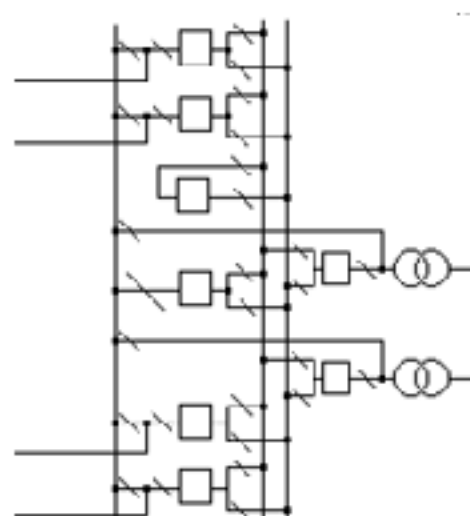
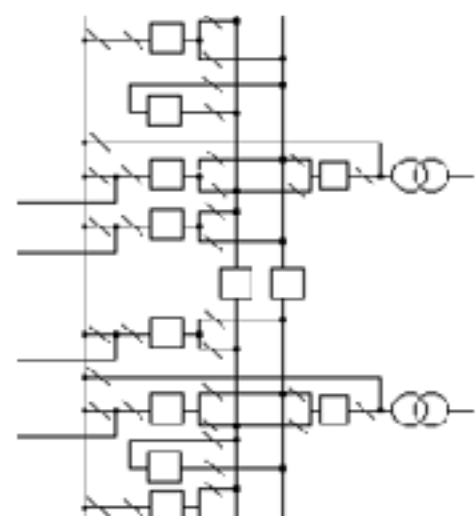
4

Варианты схем распределительных устройств					
Электрические схемы РУ	Наименование схемы	Область применения			Дополнительные условия применения
		Напряже- ние, кВ	Сторона подстанции	Количество присо- единяемых линий	
	Одна секциониро- ванная система шин с обходной с совместным секци- онным и обходным выключателями	110-220	ВН, СН	До 4	1. Количество радиальных ВЛ не более одной на сек- цию 2. Возможность деления РУ на время ремонта любого выключателя
	Одна секциониро- ванная система шин с обходной с от-делительными секционными и об- ходным выключа- телями	110-220	ВН, СН	5-13	Количество радиальных ВЛ не более одной на секцию

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
00000043E9AB8B952205E77DA5000600000043E
Сбзухова Татьяна Александровна

5

6

Варианты схем распределительных устройств					
Электрические схемы РУ	Наименование схемы	Область применения			Дополнительные условия применения
		Напряже- ние, кВ	Сторона подстанции	Количество присо- единяемых линий	
	Две несекциониро- ванные системы шин с обходной	110-220	ВН, СН	5-13	При выполнении условий для применения схемы 10
	Две секциониро- ванные системы шин с обходной	110-220	СН	Более 13	-----

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
0000043E9AB8B952205E7B7A300060000043E
Безухова Татьяна Александровна

Номер
схемы

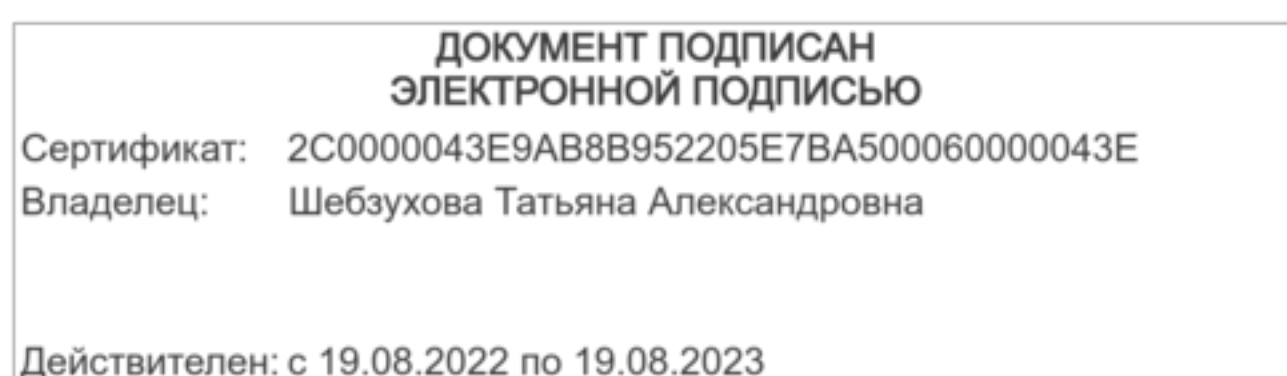
7

8

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

Собственные нужды подстанций

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



ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИИ

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

Сечение проводника определяется по формуле

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{раб}}}{j_{\text{э}}},$$

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

$j_{\text{э}}$ – нормированная экономическая плотность тока, А/мм^2 [4, с. 267].

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

Выбранные по экономической плотности тока проводники проверяются:

– по длительно допустимому току из условий нагрева

$$I_{\text{раб. max}} \leq I_{\text{дл. доп.}},$$

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

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

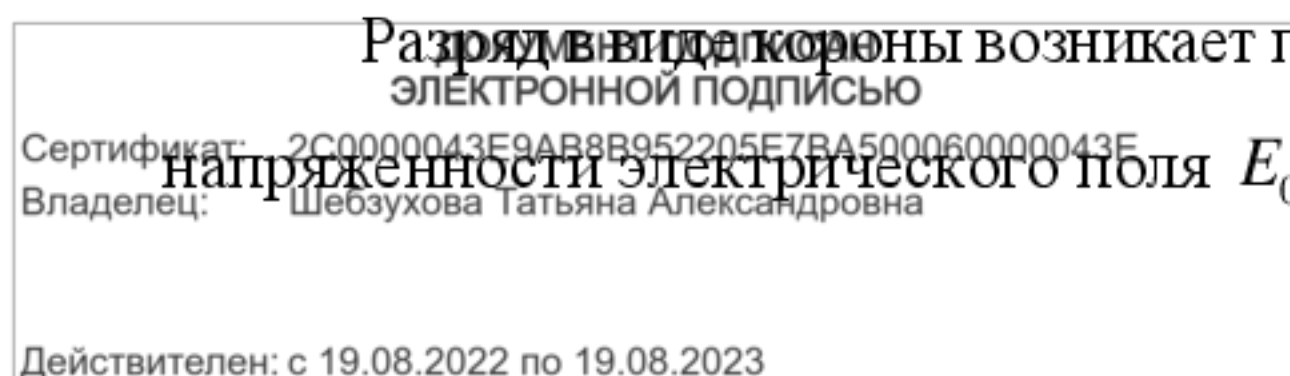
– по короне;

– по потере напряжения.

Проверка по условиям короны

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

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



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

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

r_0 – радиус провода, см.

Действительная напряженность электрического поля около поверхности нерасщепленного провода

$$E = \frac{0,34 \cdot U}{r_0 \lg \frac{D_{cp}}{r_0}}, \text{ кВ / см}$$

где U - линейное напряжение, кВ;

D_{cp} – среднее расстояние между проводами фаз, см.

При горизонтальном расположении фаз $D_{cp} = 1,26 D$, где D – расстояние между соседними фазами, см.

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

$$E = \frac{0,354 \cdot U}{n \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_0}}, \text{ кВ / см},$$

где U – линейное напряжение, кВ;

D_{cp} – среднее расстояние между проводами фаз, см.

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

Напряженность электрического поля вокруг расщепленных проводов:

$$E = k \frac{0,354 U}{n \cdot r_0 \lg \frac{D_{cp}}{r_{экв}}}; \text{ кВ / см},$$

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

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

Таблица 4 – Значения k и $r_{экв}$

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

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

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

Проверка проводов по падению напряжения

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

$$\Delta U_{расч.} = \frac{\sqrt{3} I_p}{U_n} \cdot 100\% (R_n \cdot \cos \varphi + X_n \cdot \sin \varphi),$$

где R_n – активное сопротивление ЛЭП;

X_n – индуктивное сопротивление ЛЭП.

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

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

$$R_n = r_0 \cdot \ell_{л1},$$

где r_0 – удельное активное сопротивление линии;

x_0 – удельное реактивное сопротивление линии;

$\ell_{л1}$ – длина линии ВЛ.

Значение удельных сопротивлений линии приведены в табл. 4.3

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат:	2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец:	Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023	

Таблица 5 – Значение удельных сопротивлений линий

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

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Назначение и порядок выполнения расчетов токов короткого замыкания (КЗ)

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

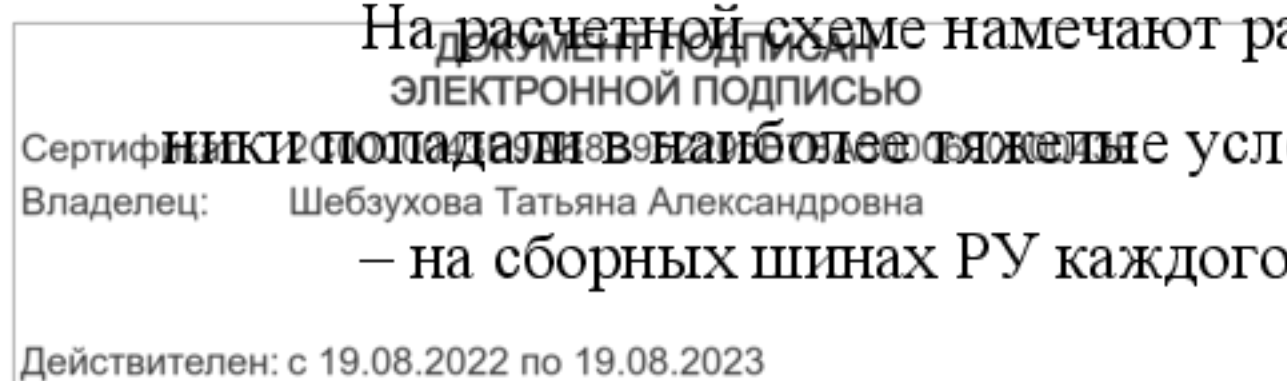
Расчет токов при трехфазном КЗ выполняют следующим образом:

1. Для рассматриваемой установки составляют расчетную схему.
2. По расчетной схеме составляют электрическую схему замещения.
3. Путем последовательного преобразования приводят схему замещения к простейшему виду так, чтобы каждый источник питания или группа источников с результирующей ЭДС были связаны с точкой КЗ одним сопротивлением $X_{рез}$.

4. Определяют значение периодической составляющей тока КЗ ($I_{п}$), затем ударный ток КЗ (i_y) и при необходимости – периодическую ($I_{п0}$) и апериодическую ($I_{па}$) составляющие тока КЗ для заданного момента времени t ($I_{пт}$).

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

На расчетной схеме намечают расчетные точки КЗ – так, чтобы аппараты и проводники попадали в наиболее тяжелые условия работы:
– на сборных шинах РУ каждого напряжения;



– за трансформаторами собственных нужд.

Расчет токов КЗ для выбора электрических аппаратов

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

Для всех расчетных точек определяются следующие величины: начальное значение периодической составляющей тока КЗ ($I_{п0}$), ударный ток КЗ (i_y) и ток в момент t расхождения контактов выключателя ($I_{пт}$). Результаты расчетов токов КЗ для каждой точки сводят в табл. 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов КЗ

Точка КЗ	S_n , МВ·А	$I_{п0}$, кА		Ударный ток 3 ^х -ф. КЗ i_y , кА
		Трехфазное КЗ	Однофазное КЗ	

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

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

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

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

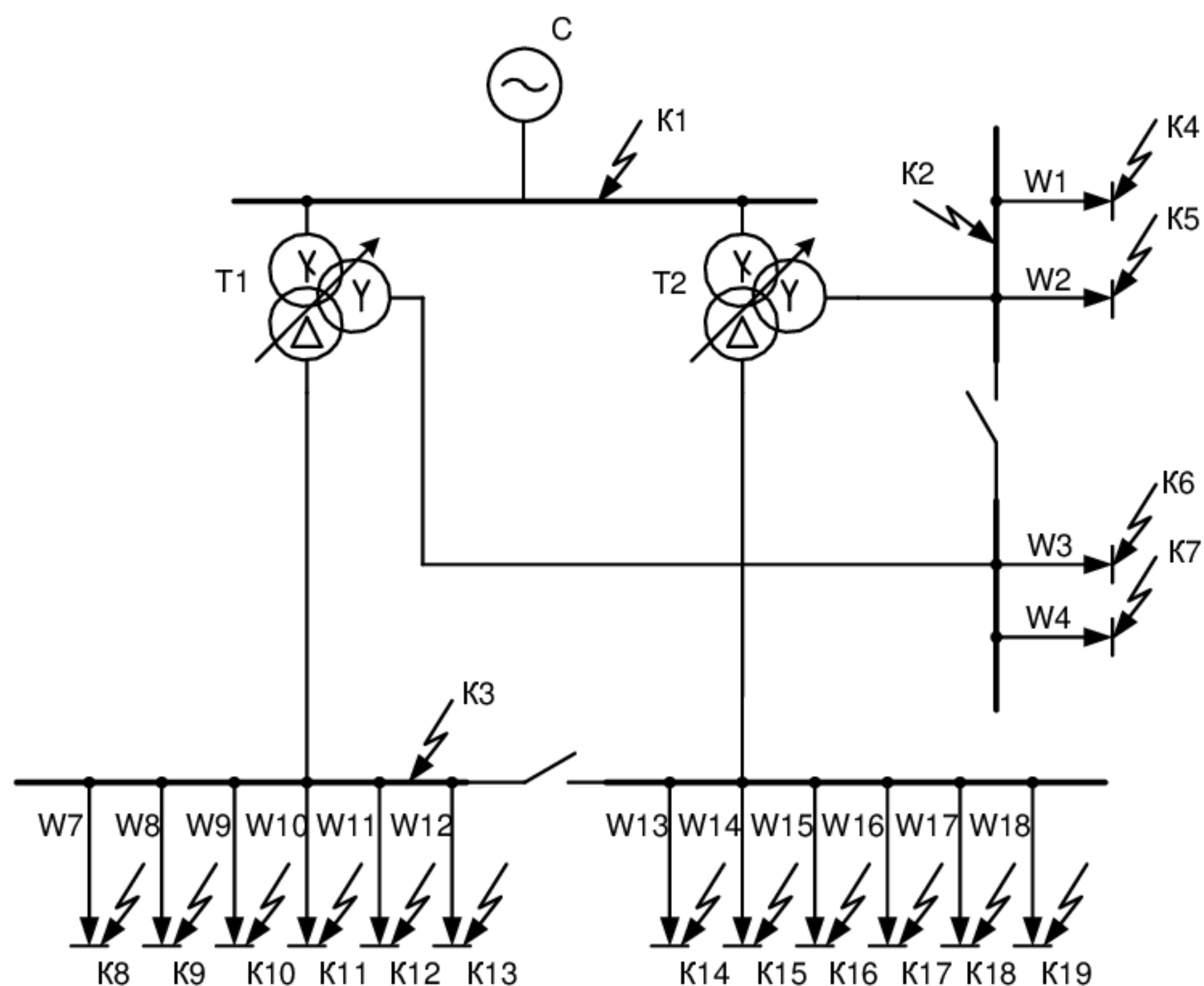


Рисунок 4 – Расчетная схема

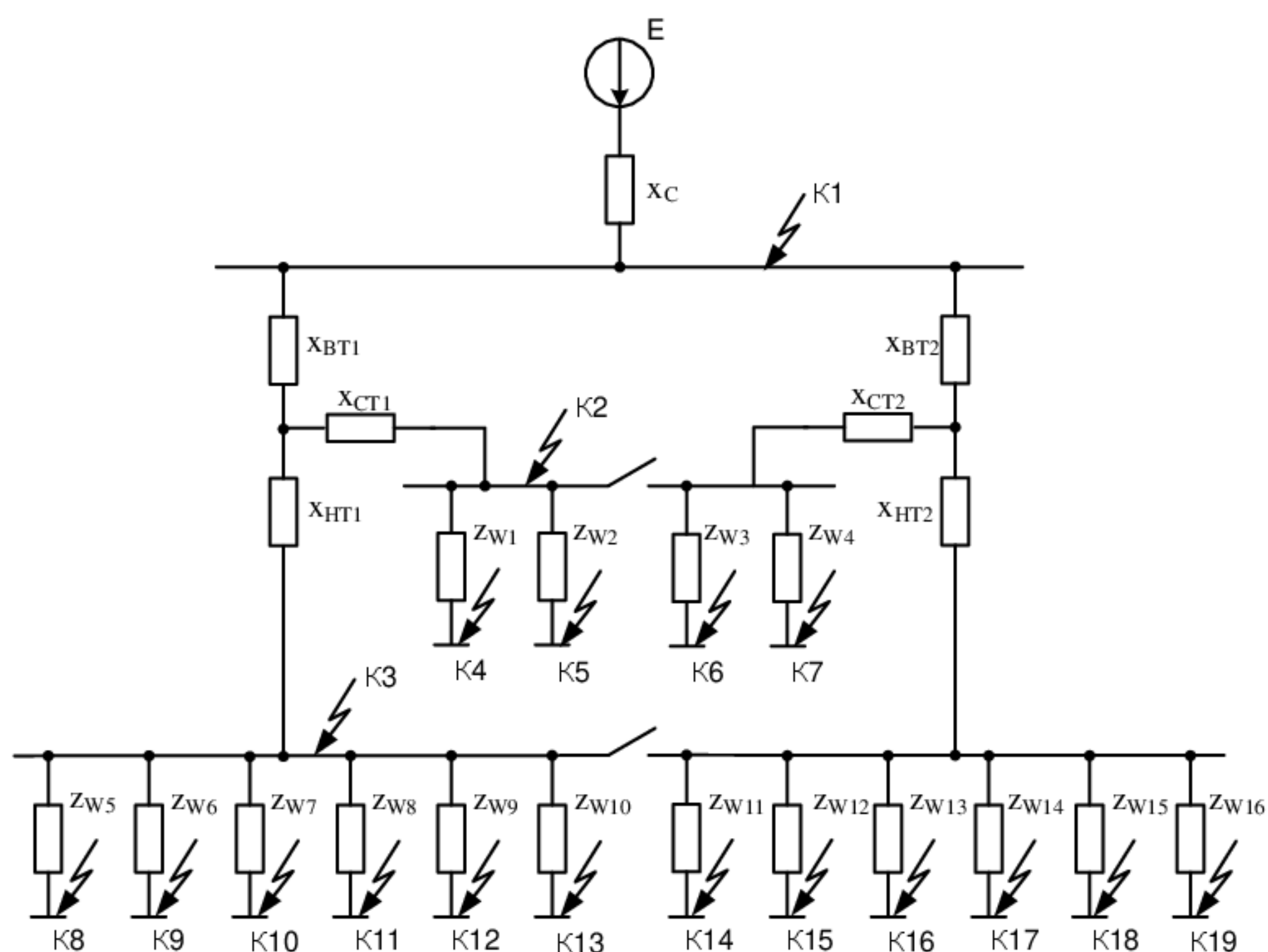


Рисунок 5 – Эквивалентная схема замещения

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна
Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023

Расчет ведется методом именованных единиц.

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

Определим базисные напряжения и токи всех уровней напряжений по формуле:

$$I_{\bar{6},i} = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{6},i}}$$

ЭДС системы в относительных единицах:

$$E_1 = E_c = \frac{U_{cp}}{U_{\bar{6},I}};$$

Сопротивление системы:

$$x_1 = x_c = \left(\frac{U_{cp}}{U_{\bar{6}}} \right)^2 \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_c},$$

где x_c – сопротивление системы в относительных единицах;

S_c – мощность короткого замыкания системы.

$$S_c = \sqrt{3} \cdot U_{\phi} \cdot I_k^{(3)},$$

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

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

$I_{k,min}^{(3)}$ – ток КЗ в режиме минимума.

Определим сопротивление линии W1:

$$x_{w1} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2};$$

$$r_{w1} = r_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2};$$

$$z_{w1} = \sqrt{x^2 + r^2},$$

где $x_{уд}$ – удельное индуктивное сопротивление линии,

$r_{уд}$ – удельное активное сопротивление линии,

l – длина линии, км.

Т.к. активное сопротивление трансформаторов меньше индуктивного, пренебрегаем

активным сопротивлением. В относительных единицах:

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 2C0000043E9AB8B952205E7BA500060000043E

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 19.08.2022 по 19.08.2023