

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна  
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского  
федерального университета  
Дата подписания: 23.08.2025 17:27:06  
Уникальный программный ключ:  
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
**Пятигорский институт (филиал) СКФУ**

**Методические указания**  
**по выполнению лабораторных работ**  
**по дисциплине «Устройство цифровых подстанций»**  
**направления подготовки**  
**13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника**

Пятигорск

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

2022

## Содержание

| №   | Стр                                                                                                                                               |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| п/п | .                                                                                                                                                 |
|     | Введение                                                                                                                                          |
| 1.  | Цель и задачи изучения дисциплины                                                                                                                 |
| 2.  | Оборудование и материалы                                                                                                                          |
| 3.  | Наименование лабораторных работ                                                                                                                   |
| 4.  | Содержание лабораторных работ                                                                                                                     |
| 4.1 | Лабораторная работа № 1. Автоматическое повторное включение<br>линии электропередачи                                                              |
| 4.2 | Лабораторная работа № 2. Автоматическое включение резерва<br>питающего присоединения                                                              |
| 4.3 | Лабораторная работа № 3. Автоматическое регулирование<br>частоты вращения синхронного генератора                                                  |
| 4.4 | Лабораторная работа № 4. Автоматическое регулирование<br>возбуждения синхронного генератора                                                       |
| 4.5 | Лабораторная работа № 5. Автоматическая синхронизация<br>генератора с сетью                                                                       |
| 4.6 | Лабораторная работа № 6. Автоматизированная система контроля и<br>учета электроэнергии в централизованных комплексах<br>диспетчерского управления |

|                                                   |                                        |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br/>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</b> |                                        |
| Сертификат:                                       | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                         | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022          |                                        |

## Введение

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

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электрических схем сетей, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях.

В предлагаемом методическом указании описано шесть лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

### *1. Цель и задачи изучения дисциплины*

Целью дисциплины «Устройство цифровых подстанций» является изучение технологий цифровой коммуникации, применяемых на объектах электроэнергетики. Рассматриваются основные принципы построения и функционирования микропроцессорных устройств, их назначение в рамках цифровой подстанции

Задачами изучения дисциплины является изучение:

- источников и закономерностей движения и преобразования информационных потоков в современных цифровых системах управления объектами электроэнергетики;
- цифровых протоколов связи, назначения и структуры пакетов передачи данных;
- микропроцессорных устройств РЗА и интеллектуальных электронных устройств цифровой подстанции;

Содержание дисциплины посвящено вопросам организации систем сбора и передачи информации для обеспечения работы автоматизированных систем диспетчерского управления, включая вопросы передачи и преобразования информации.

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

Лаборатория теоретических основ электротехники, релейной защиты и электробезопасности с интерактивным мультимедиа оборудованием

Мультимедийное оборудование: интерактивный проектор, ноутбук, магнитно-

маркерная доска. Комплект учебной мебели.

Комплект типового лабораторного оборудования «Электроэнергетика – Электрические станции и подстанции» ЭЭ1-ЭСП-С-К.

### 3. Наименование лабораторных работ

| № Тем ы дисц ипли ны | Наименование тем дисциплины, их краткое содержание                                                                                                  | Объем часов | Из них практическ ая подготовка, часов |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------|
| 4                    | <b>Лабораторная работа № 1.</b> Автоматическое повторное включение линии электропередачи                                                            |             |                                        |
| 4                    | <b>Лабораторная работа № 2.</b> Автоматическое включение резерва питающего присоединения                                                            |             |                                        |
| 4                    | <b>Лабораторная работа № 3.</b> Автоматическое регулирование частоты вращения синхронного генератора                                                |             |                                        |
| 5                    | <b>Лабораторная работа № 4.</b> Автоматическое регулирование возбуждения синхронного генератора                                                     | 1,5         |                                        |
| 5                    | <b>Лабораторная работа № 5.</b> Автоматическая синхронизация генератора с сетью                                                                     |             |                                        |
| 5                    | <b>Лабораторная работа № 6.</b> Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии в централизованных комплексах диспетчерского управления. | 3,0         |                                        |
|                      | <b>Итого за 8 семестр</b>                                                                                                                           | <b>4,5</b>  |                                        |
|                      | <b>Итого</b>                                                                                                                                        | <b>4,5</b>  |                                        |

### 4. Содержание лабораторных работ

#### Лабораторная работа № 1

#### Автоматическое повторное включение линии электропередачи

##### Цель работы:

- изучить алгоритмы работы устройств АПВ на линиях с односторонним питанием;
- изучить особенности взаимодействия устройств АПВ и релейной защиты;
- изучить принципы расчета уставок АПВ линий электропередач с односторонним питанием.

##### Основы теории:

Автоматическое повторное включение (АПВ) линии электропередачи – один из самых распространенных видов автоматики в сетях от 6 до 500 кВ. Повсеместное использование АПВ обусловлено тем, что большая часть повреждений происходит на линиях электропередачи. В этих условиях, повторное включение объекта, отключенного действием релейной защиты, позволяет восстановить нормальный режим работы электроэнергетического оборудования. Принцип действия АПВ основан на анализе положения ключа управления выключателя ЛЭП и его реального состояния. Так, если выключатель ЛЭП находится в положении «отключено», а его ключ управления в положении

«включено», происходит запуск АПВ и команда на включение выключателя. Для обеспечения эффективности АПВ выполняется с выдержкой времени, которая необходима для выполнения двух условий: 1) деионизации дугового промежутка в месте повреждения; 2) обеспечения готовности привода к отключению в случае возникновения повторного короткого замыкания. Для предотвращения многократных включений ЛЭП на устойчивое короткое замыкание, АПВ выполняется с фиксированной кратностью. Как правило, применяются однократные и двухкратные АПВ. Кроме того, к АПВ предъявляется ряд дополнительных требований: 1) АПВ не должно приходить в действие при отключении ЛЭП от ключа управления; 2) АПВ должно обеспечивать ускорение действия релейной защиты при включении на устойчивое короткое замыкание; и т. д. Полный перечень требований, предъявляемых к АПВ ЛЭП представлен в ПУЭ.

### **Порядок выполнения работы:**

***ВНИМАНИЕ!** Лабораторная работа выполняется при одновременном использовании двух лабораторных стоек «Модель электростанции №1» и «Модель электростанции №2».*

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 1.1. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Выключатель Q4 снабжен устройством защиты и управляется автоматически. Устройство защиты контролирует токи фаз линии электропередачи и формирует управляющие воздействия на выключатель Q4. Для создания короткого замыкания используется модуль короткозамыкателя, на схеме показан вариант его подключения для имитации режима короткого замыкания в середине линии электропередачи. С помощью автоматических выключателей QF1..QF6, расположенных на лицевой панели модуля короткозамыкателя, выбирается вид повреждения. Удаленность до точки короткого замыкания можно регулировать с помощью изменения положений переключателей SA1 модулей линий электропередач.

2) На противоположной лабораторной стойке собрать схему испытаний рис. 1.2 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!).

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

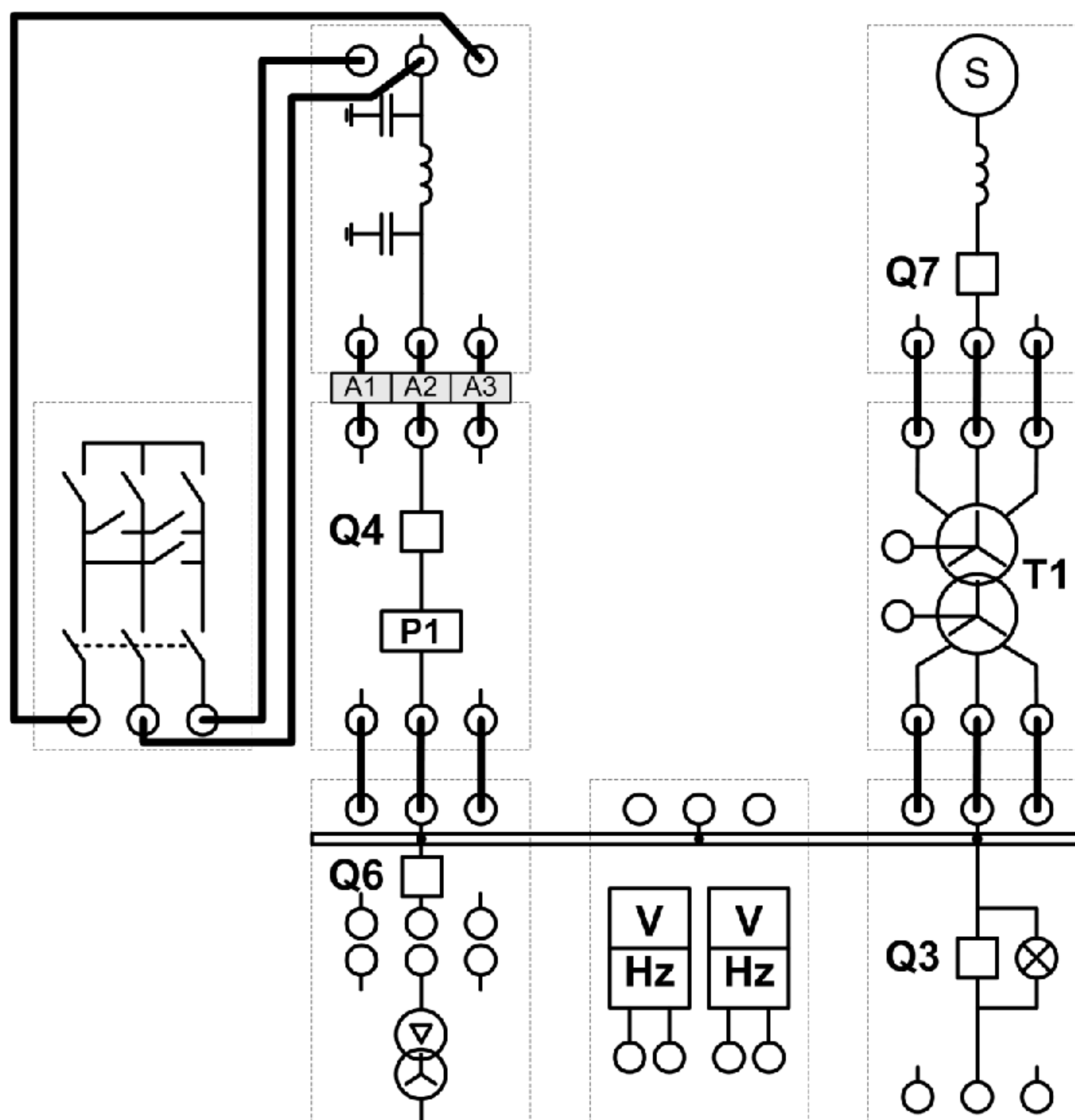


Рис. 1.1

3) На лабораторных стойках №1 и №2 установить параметры линии электропередач: а) среднее значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 2); б) среднее значение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 2).

4) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q4 в положение «Авт». Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q7 в положение «Руч». На противоположной лабораторной стойке переключатели SA2 режима управления выключателями Q4 и Q6 перевести в положение «Руч».

5) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Релейная защита – Работа №2 МТЗ с независимой выдержкой времени».

6) Включить выключатель Q7 (кнопка SB1 на

ЛИЦЕВОЙ ПАНЕЛИ МОДУЛЯ ВВОДА В СЕТЬ).

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

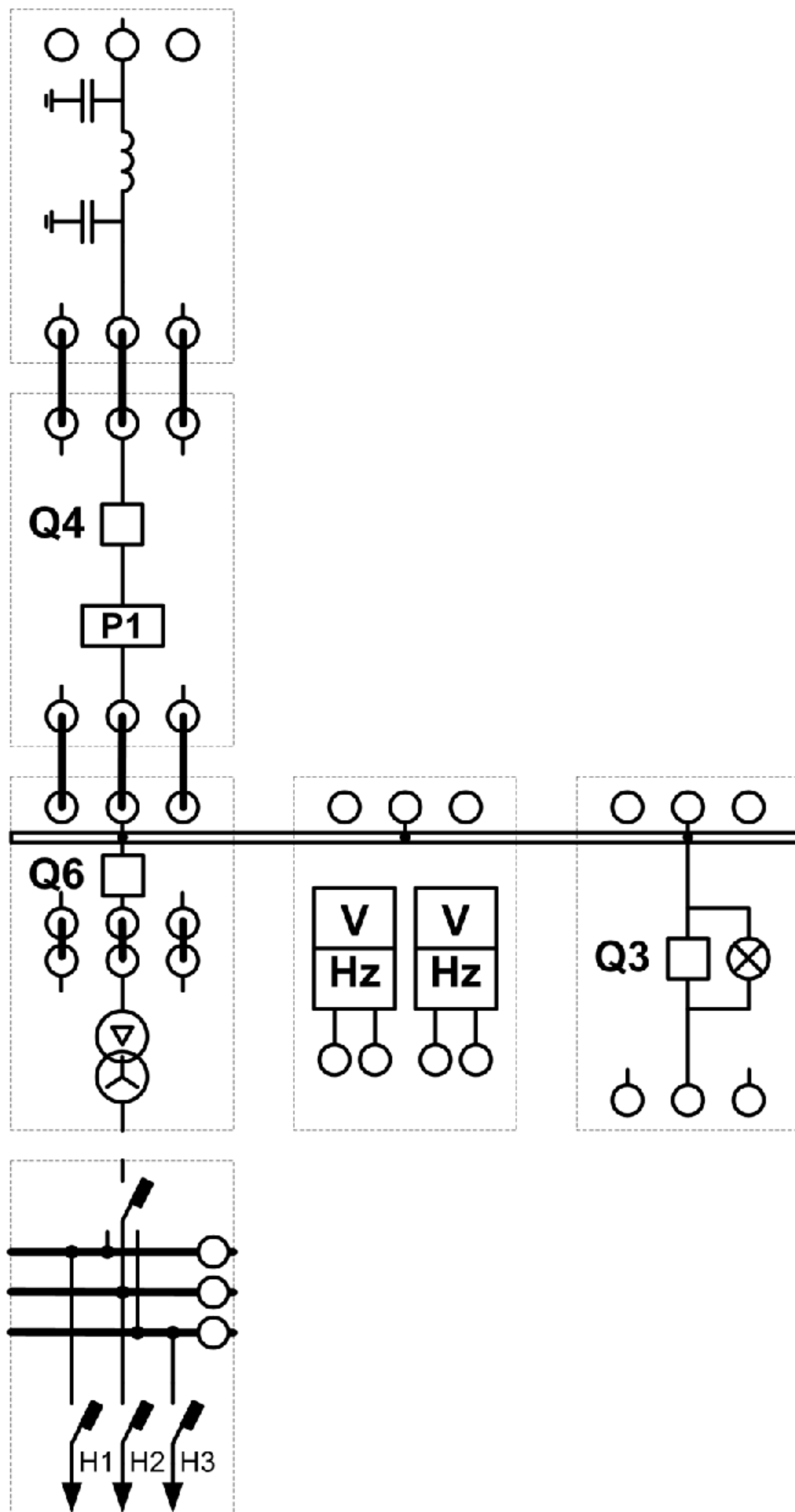


Рис. 1.2

7) На противоположной лабораторной стойке: включить питание стенда, включить выключатели Q4 и Q6.

8) В программе «Data Profi» перевести защиту в режим работы «действие на мышью на прямоугольнике «МТЗ», в положении «сигнал» (двойным нажатием кнопки мыши на прямоугольнике «МТЗ», в положении «сигнал»).

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

9) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

10) Дистанционно включить выключатель Q4 одинарным щелчком левой кнопки мыши по зеленому прямоугольнику с всплывающей подсказкой «Q4». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый – отключен, красный – включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q4 должен включиться, а его цвет измениться на красный. При этом, на мнемосхеме отображаются текущие величины токов фаз А, В и С линии электропередачи, в данном случае, ток трехфазной нагрузки.

11) Записать величину тока нагрузки  $I_{\text{раб.макс.}}$ . Отключить выключатель Q4. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6.

12) Рассчитать ток срабатывания защиты  $I_{\text{сз}} = I_{\text{раб.макс.}} K_H K_z / K_{\text{воз}}$ . Коэффициент надежности  $K_H$  принять равным 1,2.

Коэффициент запуска двигательной нагрузки  $K_z$  принять равным 1. Коэффициент возврата реле тока  $K_{\text{воз}}$  принять равным 0,95. Рассчитать ток срабатывания реле тока  $I_{\text{ср}} = I_{\text{сз}} * K_{\text{сх}} / n_T$ . Коэффициент трансформации трансформатора тока  $n_T$  принять равным 1. Коэффициент схемы  $K_{\text{сх}}$  определяется выбранной схемой соединения обмоток измерительных трансформаторов тока и обмоток реле (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне переключатель «Схема соединения обмоток ТА»). Ввести расчетный ток срабатывания защиты в диалоговом окне параметров защиты. Убедиться в том, что в параметрах защиты выбрана схема соединения обмоток «полная звезда».

13) Открыть диалоговое окно настройки параметров АПВ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «АПВ»). Установить переключатель «кратность действия» в положение «двухкратное». Переключатель «Ускорение действия релейной защиты» в положение «отключено».

14) Проверить работу АПВ при само устраняющемся коротком замыкании. Перевести защиту в режим действия на отключение. Запустить программный комплекс в работу командой «Пуск». Подать команду на включение выключателя Q4. Создать короткое замыкание переводом переключателя SA1 модуля короткозамыкателя в положение «Вкл». При правильно выбранных уставках защита срабатывает с заданной выдержкой времени, отключая выключатель Q4, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «МТЗ» красным, что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. Щелчок левой кнопкой мыши по прямоугольнику «МТЗ» сбрасывает состояние указательного реле (аналогичный эффект достигается нажатием кнопки «Сброс» в диалоговом окне параметров защиты). СРАЗУ ПОСЛЕ СРАБАТЫВАНИЯ ЗАЩИТЫ отключить короткое замыкание (переводом переключателя SA1 модуля короткозамыкателя в положение «Откл»). АПВ с выдержкой времени подает команду на включение выключателя Q4. Восстанавливается нормальный режим работы.

15) Проверить автоматический возврат АПВ. Для этого, повторить предыдущий пункт. АПВ должно срабатывать в каждом случае.

16) Проверить работу АПВ при устойчивом коротком замыкании. Для этого, создать короткое замыкание. МТЗ с заданной выдержкой времени, отключает выключатель Q4. После отключения выключателя Q4, его цвет становится зеленым, а прямоугольник «МТЗ» красным,

что свидетельствует о срабатывании указательного реле защиты. АПВ с выдержкой времени 1 ступени включает выключатель Q4. МТЗ с заданной выдержкой времени снова отключает выключатель Q4. АПВ с выдержкой времени 2 ступени снова включает выключатель Q4. МТЗ с заданной выдержкой времени снова отключает выключатель Q4. Дальнейшая работа АПВ блокируется.

17) Отключить короткое замыкание. Квитировать АПВ, переводом ключа управления выключателем SB4 в положение «откл».

18) Открыть диалоговое окно настройки параметров АПВ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «АПВ»). Установить переключатель «кратность действия» в положение «однократное». Переключатель «Ускорение действия релейной защиты» установить в положение «ускорение действия РЗ после АПВ».

19) Проверить работу АПВ при устойчивом коротком замыкании. Для этого, подать команду на включение выключателя Q4, создать короткое замыкание. МТЗ с заданной выдержкой времени, отключает выключатель Q4. АПВ с выдержкой времени включает выключатель Q4. МТЗ отключает выключатель Q4 без выдержки времени (по цепи ускорения). Дальнейшая работа АПВ блокируется.

20) Отключить короткое замыкание. Квитировать АПВ, переводом ключа управления выключателем SB4 в положение «откл».

21) Открыть диалоговое окно настройки параметров АПВ (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «АПВ»). Установить переключатель «кратность действия» в положение «однократное». Переключатель «Ускорение действия релейной защиты» установить в положение «ускорение действия РЗ до АПВ».

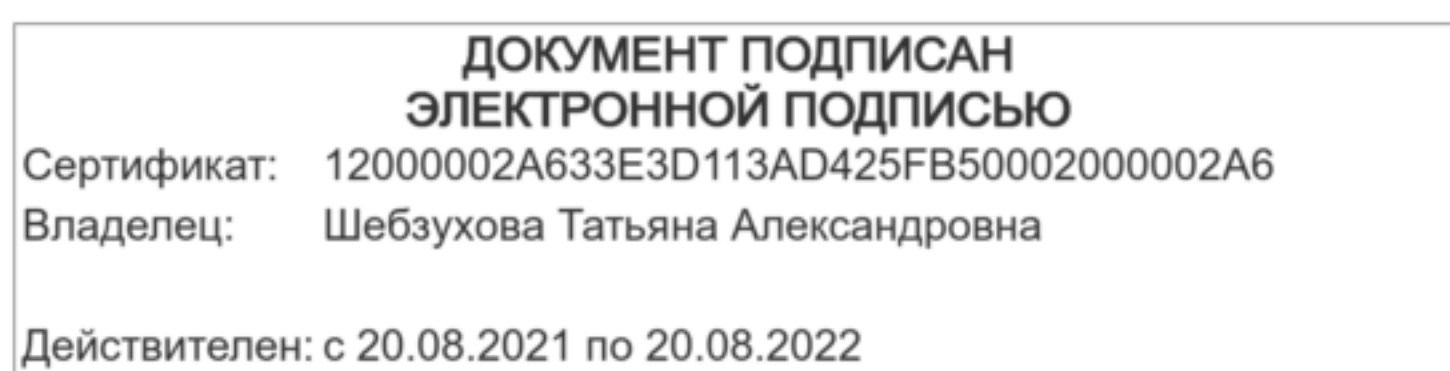
22) Проверить работу АПВ при устойчивом коротком замыкании. Определить различия в алгоритме работы МТЗ и АПВ по сравнению с предыдущим опытом. Сделать выводы о правильности действий релейной защиты и автоматики.

23) Отключить все выключатели. Отключить питание стенда.

24) Оформить отчет по лабораторной работе. В отчете представить временные диаграммы работы РЗиА для всех проведенных экспериментов.

### **Контрольные вопросы:**

1. Как выбираются уставки времени срабатывания двухкратного АПВ?
2. Что такое ускорение действия релейной защиты при АПВ?
3. В чем разница ускорения действия релейной защиты ДО и ПОСЛЕ АПВ?
4. В чем преимущества ускорения действия релейной защиты до АПВ?
5. Что такое время автоматического возврата АПВ, для чего оно необходимо, из каких условий выбирается?



## Лабораторная работа №2

### Автоматическое включение резерва питающего присоединения

#### Цель работы:

– изучить принцип действия и особенности работы устройств автоматического включения резерва питающего присоединения.

#### Основы теории:

Автоматическое включение резерва (АВР) питающего присоединения получило широкое распространение в распределительных сетях с односторонним питанием. Применение АВР целесообразно на подстанциях, имеющих два независимых источника питания, но работающих по односторонней схеме. Такая ситуация может иметь место в случаях, когда: 1) источники питания не допускают режима параллельной работы на общую нагрузку; 2) устройства релейной защиты и автоматики распределительной сети спроектированы с расчетом на радиальную схему электроснабжения, тогда включение источников на параллельную работу приведет к созданию режима сети с двухсторонним питанием и потребует модернизации всего комплекса релейной защиты и автоматики; 3) сохранение радиальной схемы электроснабжения необходимо для снижения токов коротких замыканий, удобства регулирования режима работы сети по напряжениям в узлах и перетокам активной и реактивной мощности.

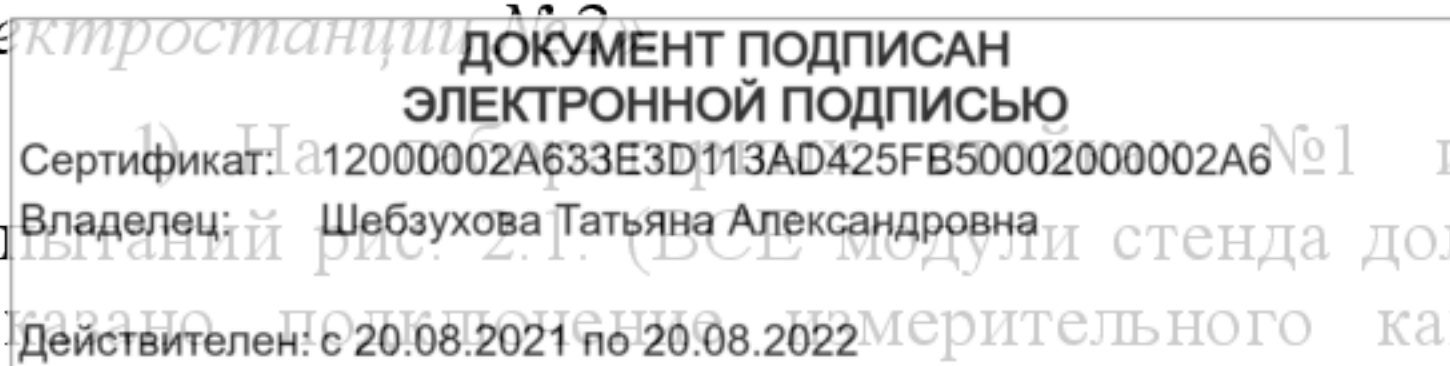
Недостатком такого решения является то, что при исчезновении питания от одного из источников (рабочего источника), потребители теряют питание на время оперативных переключений (перевода потребителей на резервный источник питания). Применение АВР позволяет сократить время перерыва электроснабжения потребителей, так как перевод потребителей с рабочего на резервный источник питания осуществляется автоматически.

К устройствам АВР предъявляются следующие основные требования: 1) АВР должно приходить в действие при исчезновении напряжения на шинах потребителя по любой причине, в том числе при аварийном, ошибочном или самопроизвольном отключении выключателя рабочего источника питания; 2) Включение резервного источника осуществляется только после отключения рабочего источника питания, что предотвращает возможность не синхронного включения источников питания, а так же предотвращает включение резервного источника на короткое замыкание в цепях рабочего источника питания; 3) АВР срабатывает даже если напряжение на шинах потребителя исчезло по причине короткого замыкания на шинах (т. е. допускается включение резервного источника на короткое замыкание); 4) АВР обеспечивает ускорение действия релейной защиты при включении резервного источника на устойчивое короткое замыкание и т.д.

#### Порядок выполнения работы:

**ВНИМАНИЕ!** Лабораторная работа выполняется при одновременном использовании двух лабораторных стоек «Модель электростанции №1» и «Модель электростанции №2».

№1 и №2 собрать схему лабораторных испытаний рис. 2.1. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). На схеме показано подключение измерительного канала А4 модуля ввода вывода для измерения напряжения фазы А системы сборных шин относительно нейтрали вторичной обмотки силового трансформатора Т1.



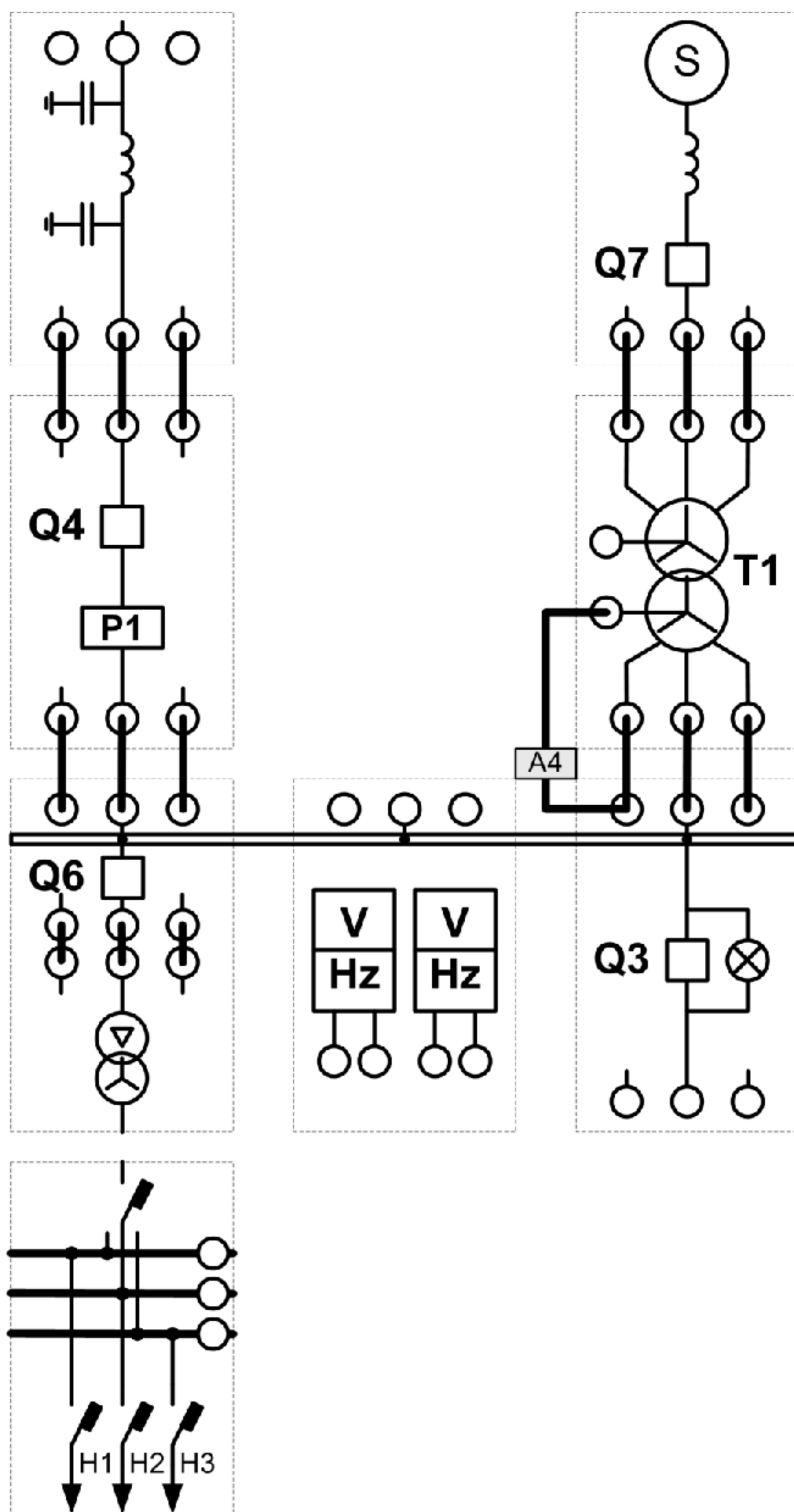


Рис. 2

2) Установить параметры линии электропередач: а) среднее значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 2); б) среднее значение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 2).

3) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателями Q4 и Q7 в положение «Авт». Перевести переключатель SA2 режима управления

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

выключателем Q6 в положение «Руч». На противоположной лабораторной стойке переключатели SA2 режима управления выключателями Q4, Q6 и Q7 перевести в положение «Руч».

4) На противоположной лабораторной стойке: включить питание стенда, включить выключатели Q4 и Q7 (кнопки SB1 на лицевых панелях модулей).

5) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Автоматика ЭЭС – Работа №2 АВР питающего присоединения».

6) Вывести АВР из работы. Для этого, открыть окно настройки параметров АВР (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «АВР») и перевести переключатель «Режим работы» в положение «отключено». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

7) Дистанционно включить выключатель Q4 переводом ключа управления SB4 в положение «вкл.». Программа всегда отображает текущее состояние выключателя (зеленый – отключен, красный – включен). При правильно собранной схеме и выставленных параметрах выключатель Q4 должен включиться, а его цвет измениться на красный.

8) Включить выключатель Q6 кнопкой SB1, расположенной на лицевой панели модуля выключателя кабельной ЛЭП.

9) Ввести АВР в работу. Для этого, открыть окно настройки параметров АВР (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «АВР») и перевести переключатель «Режим работы» в положение «включено».

10) Проверить действие АВР при ошибочном отключении выключателя рабочего источника питания. Для этого, подать команду на отключение выключателя Q4 переводом ключа управления SB4 в положение «откл.». АВР срабатывает и включает выключатель резервного источника Q7.

11) Восстановить нормальный режим работы (перевести питание потребителей на рабочий источник питания). Для этого: вывести АВР из работы, отключить выключатель Q7 резервного источника питания переводом ключа управления SB7 в положение «вкл.», а затем в положение «откл.», перевести ключ управления SB4 в положение «вкл.», ввести в работу АВР.

12) Проверить действие АВР при исчезновении напряжения на рабочем источнике питания. Для этого, на противоположной лабораторной стойке отключить выключатель Q4 кнопкой SB2 на лицевой панели модуля вводного выключателя. АВР срабатывает, отключая выключатель рабочего источника Q4 и включая выключатель резервного источника Q7.

13) Вывести АВР из работы. Отключить все выключатели на лабораторной стойке №1 и №2. Отключить питание стенда. Остановить работу программы кнопкой «Стоп». Оформить отчет по лабораторной работе.

Контрольные вопросы:

1. Объясните назначение устройств автоматического включения резерва?
2. Какие требования предъявляются к устройствам АВР?
3. Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 АВР?
4. Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна Перечислите случаи, в которых АВР должно приходить в действие?
5. Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022 Действие АВР одностороннего и двухстороннего действия?

## Лабораторная работа №3

### Автоматическое регулирование частоты вращения синхронного генератора

#### Цель работы:

- изучить принципы автоматического управления приводным двигателем;
- изучить особенности автоматического регулирования частоты и активной мощности в режимах холостого хода и параллельной работы с сетью.

#### Основы теории:

Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ) обеспечивает выполнение баланса активной мощности в энергосистеме в каждый момент времени при относительном постоянстве частоты. При отсутствии устройств АРЧМ баланс активной мощности обеспечивается за счет свойства саморегулирования энергосистемы, которое в основном определяется регулирующим эффектом нагрузки. Так, при дефиците активной мощности, электромагнитный момент нагрузки синхронных генераторов преобладает над вращающим моментом, создаваемым турбинами, в результате чего частота вращения машин снижается, снижается частота напряжения в сети. Поскольку, активная мощность потребителей зависит от частоты питающего напряжения (регулирующий эффект нагрузки), снижение частоты приводит к снижению суммарной мощности потребителей, т. е. к уменьшению величины дефицита активной мощности. Не трудно заметить, что данный процесс снижения частоты будет продолжаться до тех пор, пока мощность потребителей уменьшится на величину первичного дефицита активной мощности. Баланс мощности будет установлен, но при новой частоте, меньшей чем номинальная. Аналогичная ситуация будет наблюдаться при избытке активной мощности, что приведет к повышению частоты напряжения в сети. Главным недостатком свойства саморегулирования энергосистемы является изменение частоты в широком диапазоне, что недопустимо в соответствии с ГОСТ. Автоматические регуляторы частоты и мощности обеспечивают статическое (или астатическое) регулирование мощности синхронных генераторов при изменении частоты в энергосистеме, таким образом, что при снижении частоты мощность генераторов увеличивается, а при увеличении — снижается. Это приводит к тому, что изменения частоты в энергосистеме при нарушениях баланса мощности, происходит в значительно меньшем диапазоне.

#### Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис.3 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Измерительный канал по току А1 модуля ввода включен последовательно в фазу А силового трансформатора Т2 со стороны сборных шин. Измерительный канал по напряжению А4 модуля ввода-вывода подключен параллельно между фазой А и нейтралью силового трансформатора Т2. Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

А2 режима управления выключателем Q7 (модуль трехфазной сети) в положение «Руч». Переключатель SA2 режима управления выключателем Q3 (модуль синхронизации) перевести в положение «Авт».

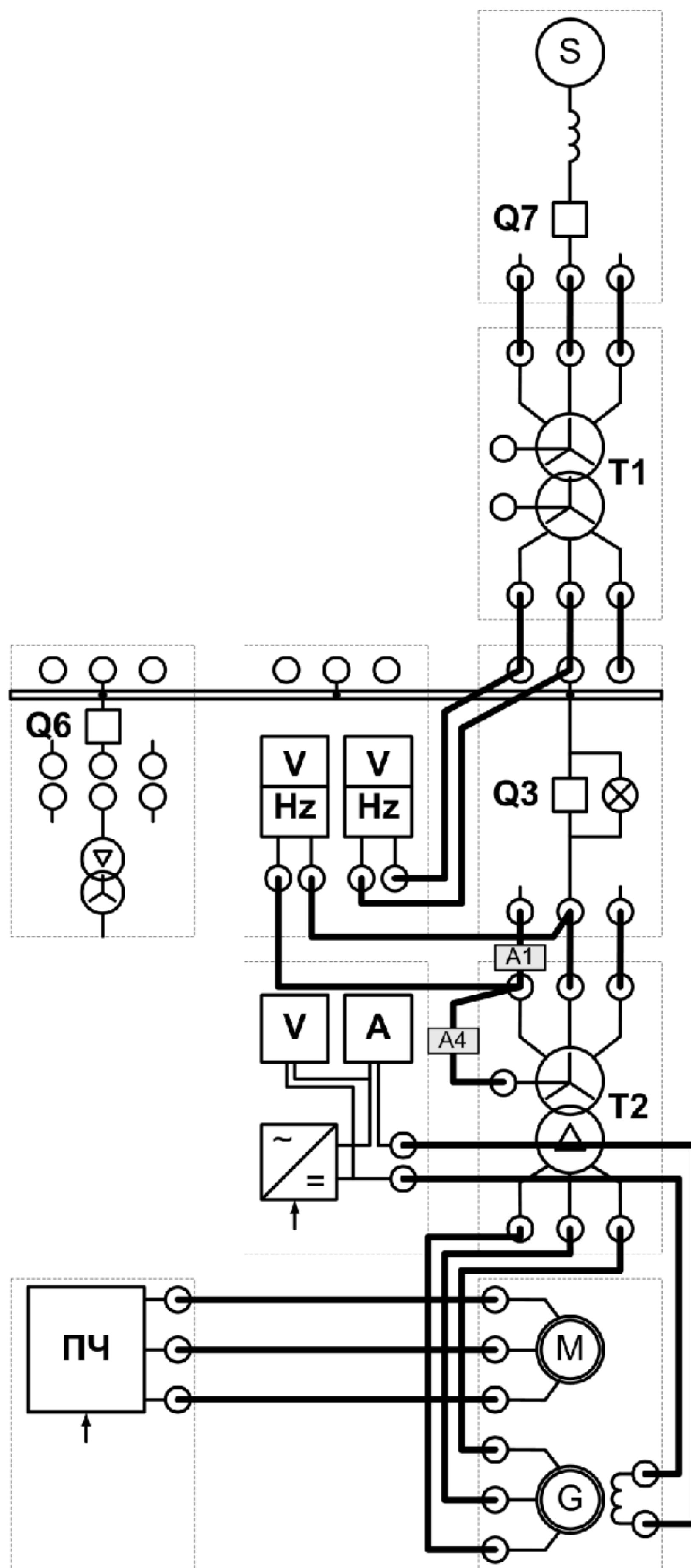


Рис. 3

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

3) Перевести переключатель SA1 режима управления модулем возбуждения в положение «Руч». Потенциометр RP1 установить в крайнее левое положение.

4) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем частотного преобразователя в положение «Авт». Потенциометр RP1 установить в крайнее левое положение. Переключатель SA1 разрешения работы частотного преобразователя установить в среднее положение.

5) Включить питание стенда. Включить питание модулей: измерителя скорости, синхронизации, трехфазной сети.

6) Включить выключатель Q7 модуля трехфазной сети (кнопка SB1).

7) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Автоматика ЭЭС – Работа №3 Автоматическое регулирование частоты вращения СГ».

8) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

9) Подать команду дистанционного включения выключателя приводного двигателя щелчком левой кнопки мыши (ЛКМ) по изображению выключателя Q1 на мнемосхеме.

10) Включить питание модуля возбуждения и плавно увеличивая ток возбуждения выровнять по показаниям вольтметров V1 и V2 напряжения со стороны генератора и со стороны сети.

11) Изменяя значение уставки регулятора по частоте (регулятор «Задание по частоте, об./мин.» в окне настройки параметров АРЧМ) выровнять частоту вращения электромашиного агрегата с частотой в сети.

12) При необходимости, повторить п.11 и п.12 для выравнивания напряжений и частот.

13) По показаниям синхроскопа подать команду дистанционного включения модуля синхронизации (щелчок ЛКМ по изображению выключателя Q3 на мнемосхеме) в момент совпадения векторов по фазе (момент погасания контрольных ламп).

14) Изменяя значение уставки регулятора по мощности (регулятор «Задание по мощности, Вт» в окне настройки параметров АРЧМ) убедиться в ее реальном изменении по показаниям универсального измерителя мощности. ВНИМАНИЕ! Регулирование осуществлять в небольшом диапазоне (не более  $0.5P_{ном}$ ), так как автоматическое регулирование возбуждения в данном случае отсутствует и предел мощности генератора занижен.

15) Проверить работу регулятора при изменении частоты. Для этого, изменяя уставку регулятора по мощности, установить по показаниям измерителя мощности режим выдачи активной мощности в сеть на уровне 70Вт (при этом, значение уставки условно и может не соответствовать действительной мощности, так как регулятор не производит непосредственное измерение мощности и фактическая мощность будет зависеть от регулировочной характеристики электромашиного агрегата). Поскольку, изменить частоту в сети не представляется возможным, предлагается изменять уставку регулятора по частоте. Так, если уставка по частоте равна частоте в сети (1500 об./мин.), реальная мощность генератора определяется уставкой регулятора по мощности. При уставке регулятора по частоте 1400 об./мин. Частота в сети повышается, поэтому АРЧМ снижает мощность генератора в соответствии с заданным коэффициентом статизма по частоте (реальная мощность генератора меньше заданной). При уставке регулятора по частоте 1600 об./мин.

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

Частота в сети ниже заданной, поэтому АРЧМ повышает мощность генератора в соответствии с заданным коэффициентом статизма по частоте (реальная мощность генератора становится больше заданной). Исследовать (снять зависимость) изменения активной мощности генератора от разности синхронной частоты (частота вращения агрегата при выполненной синхронизации, например, 1487 об./мин.) и частоты установки в диапазоне от -30 до +30 об./мин. Построить статическую частотную характеристику генератора.

16) Дистанционно отключить генератор от сети щелчком ЛКМ по изображению выключателя Q3 на мнемосхеме. Снизить ток возбуждения генератора до нуля, отключить питание модуля возбуждения. Дистанционно отключить приводной двигатель щелчком ЛКМ по изображению выключателя Q1 на мнемосхеме. Остановить работу программы кнопкой «Стоп».

17) Отключить питание стенда. Оформить отчет по лабораторной работе.

### **Контрольные вопросы:**

1. Объясните назначение устройств автоматического регулирования частоты и мощности?
2. В чем разница между статическим и астатическим законом регулирования?
3. Для чего необходимо регулирование мощности с статизмом по частоте?
4. Что такое статическая частотная характеристика генератора?

### **Лабораторная работа №4**

#### **Автоматическое регулирование возбуждения синхронного генератора**

#### **Цель работы:**

- изучить принципы автоматического регулирования возбуждения синхронных машин;
- изучить влияние автоматического регулирования возбуждения на предел статической устойчивости синхронного генератора.

#### **Основы теории:**

Автоматическое регулирование возбуждения (АРВ) в нормальном режиме обеспечивает поддержание заданного напряжения на выводах синхронного генератора, обеспечивает удобство регулирования напряжения в узлах сети и создания необходимых режимов по перетокам реактивной мощности. В аварийном режиме работы энергосистемы (при близких коротких замыканиях) АРВ обеспечивает повышение статической и динамической устойчивости синхронных генераторов. Принцип действия автоматического регулятора возбуждения основан на изменении тока возбуждения синхронной машины при изменении ее нагрузки. В качестве контролируемых параметров в АРВ используются измерение напряжения и/или тока статорной обмотки синхронного генератора. Автоматическая система управления (АСУ) с обратной связью по току называется устройством компаундирования возбуждения синхронной машины, а АСУ с обратной связью по напряжению — пропорциональным. Современные системы АРВ как правило, реализуют и пропорциональное и сильное действие, того, АРВ также обеспечивает форсировку ВО. В аварийном режиме работы энергосистемы (при близких коротких замыканиях) АРВ пропорционального и сильного действия. В АРВ пропорционального действия управляющее воздействие (изменение тока возбуждения) формируется с учетом

отклонения контролируемых параметров, в АРВ сильного действия учитывается также скорость изменения тока и напряжения синхронной машины. В данной лабораторной работе исследуется простейшее АРВ пропорционального действия с обратной связью по напряжению.

### Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис.3 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Измерительный канал по току А1 модуля ввода включен последовательно в фазу А силового трансформатора Т2 со стороны сборных шин. Измерительный канал по напряжению А4 модуля ввода-вывода подключен параллельно между фазой А и нейтралью силового трансформатора Т2.

2) Перевести переключатели SA2 режима управления выключателями Q3 (модуль синхронизации) и Q7 (модуль трехфазной сети) в положение «Руч».

3) Перевести переключатель SA1 режима управления модулем возбуждения в положение «Авт». Потенциометр RP1 установить в крайнее левое положение.

4) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем частотного преобразователя в положение «Руч». Потенциометр RP1 установить в крайнее левое положение. Переключатель SA1 разрешения работы частотного преобразователя установить в среднее положение.

5) Включить питание стенда. Включить питание модулей: измерителя скорости, синхронизации, возбуждения, трехфазной сети.

6) Включить выключатель Q7 модуля трехфазной сети (кнопка SB1).

7) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Автоматика ЭЭС – Работа №4 Автоматическое регулирование возбуждения СТ».

8) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

9) Включить модуль частотного преобразователя. Для этого, перевести переключатель SA1 на лицевой панели модуля в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 установить частоту вращения электромашинного агрегата на уровне 1500 об./мин. (по показаниям измерительного прибора модуля измерителя скорости).

10) Подать команду дистанционного включения выключателя модуля возбуждения щелчком левой кнопки мыши (ЛКМ) по изображению выключателя Q2 на мнемосхеме.

11) Открыть окно настройки параметров АРВ (двойной щелчок ЛКМ по прямоугольнику АРВ на мнемосхеме). Плавно изменяя значение регулятора «Задание по напряжению, В» выровнять напряжение генератора с напряжением сети по показаниям приборов измерительного модуля.

12) При необходимости, скорректировать частоту вращения электромашинного агрегата для достижения допустимой с точки зрения синхронизации частоты скольжения.

13) По показаниям синхроскопа включить выключатель Q3 модуля синхронизации (кнопка SB2 на лицевой панели модуля) в момент совпадения векторов ЭДС генератора и сети (контроль ламп).

14) Медленно изменяя положение потенциометра RP1 модуля частотного преобразователя, установить величину активной мощности выдаваемой

синхронным генератором в сеть (контролировать по показаниям на мнемосхеме ПК). Определить предел статической устойчивости синхронного генератора (максимальное значение активной мощности, предшествовавшее выпадению генератора из синхронизма) при наличии АРВ.

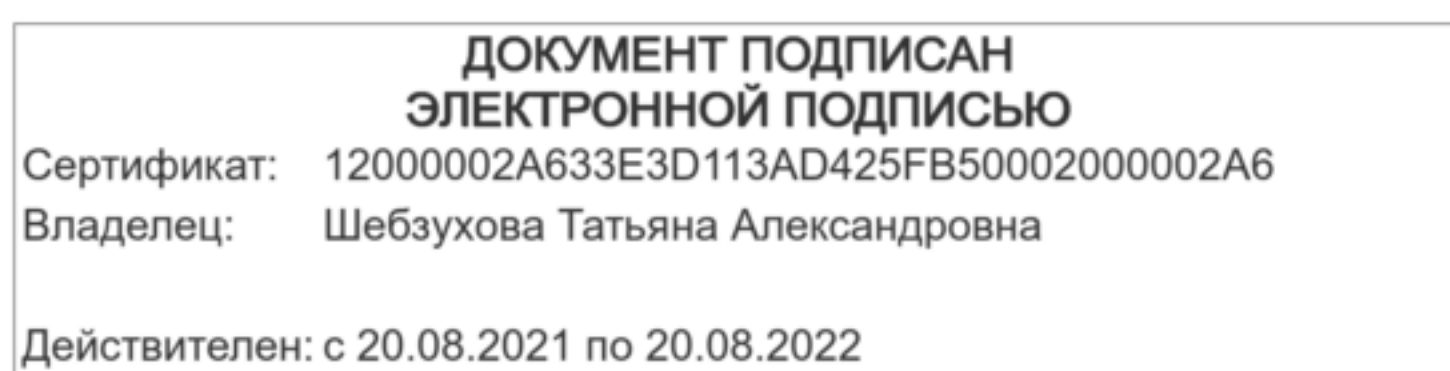
15) Ресинхронизировать генератор сбросом активной мощности (потенциометр RP1 модуля частотного преобразователя). Снизить мощность синхронного генератора до нуля. Отключить генератор от сети (кнопка SB2 на лицевой панели модуля синхронизации). Отключить возбуждение синхронного генератора (выключатель Q2 на мнемосхеме ПК). Остановить работу программы кнопкой «Стоп».

16) Перевести переключатель режима управления модулем возбуждения в положение «Руч.». Изменяя ток возбуждения синхронного генератора выровнять напряжение генератора и напряжение сети. Включить выключатель Q3 модуля синхронизации с контролем условий синхронизма (включение в момент погасания сигнальных ламп модуля синхронизации). Медленно увеличивая мощность синхронного генератора (потенциометр RP1 на лицевой панели модуля частотного преобразователя) определить предел статической устойчивости генератора при отсутствии АРВ. Ресинхронизировать генератор с сетью, снизить активную мощность до нуля, отключить генератор от сети, снять ток возбуждения, остановить приводной двигатель.

17) Отключить питание стенда. Оформить отчет по лабораторной работе.

### **Контрольные вопросы:**

1. Объясните назначение устройств автоматического регулирования возбуждения?
2. В чем разница между АРВ пропорционального и сильного действия?
3. Как влияет наличие АРВ на статическую устойчивость синхронного генератора?
4. Как влияет наличие АРВ на динамическую устойчивость синхр. генератора?



## Лабораторная работа №5

### Автоматическая синхронизация генератора с сетью

#### Цель работы:

– изучить принцип действия устройства точной автоматической синхронизации генератора с сетью.

#### *Основы теории:*

Устройства точной автоматической синхронизации генераторов получили широкое распространение, так как: 1) позволяют избежать аварийных ситуаций вызванных ошибочными действиями оперативного персонала при ручной синхронизации; 2) обеспечивают более быстрое включение генератора в сеть; 3) обеспечивают более точное выполнение условий синхронизации, что позволяет включать генераторы в сеть без бросков уравнивающего тока и синхронных качаний. Как правило, автоматические синхронизаторы обеспечивают не только контроль условий синхронизации, но и формируют управляющие воздействия на изменение уставок автоматического регулятора возбуждения (АРВ) и автоматического регулятора частоты вращения (АРЧВ) синхронного генератора для автоматической подгонки частоты и напряжения генератора. Точная синхронизация выполняется при соблюдении трех условий синхронизации: 1) разность частот вращения синхронного генератора и частоты в сети должна быть в допустимом диапазоне; 2) разность напряжений со стороны генератора и сети не должна превышать допустимого значения; 3) угол между векторами напряжений одноименных фаз выключателя на котором осуществляется синхронизация должен быть равен нулю в момент включения генератора в сеть. Контроль всех трех условий синхронизации осуществляется по одному параметру, а именно, огибающей напряжения скольжения (напряжение между полюсами одноименных фаз выключателя на котором осуществляется синхронизация). Так, длительность периода изменения огибающей напряжения скольжения обратно-пропорциональна разности частот вращения генератора и сети. Минимум огибающей напряжения скольжения определяет разность напряжений генератора и сети по величине (при снижении огибающей до нуля напряжения генератора и сети равны). Момент совпадения векторов напряжений одноименных фаз по фазе соответствует моменту перехода огибающей напряжения скольжения через минимум. Поскольку, выключатель на котором осуществляется синхронизация обладает собственным временем включения (т. е. является инерционным элементом) команда на включение выключателя подается с некоторым опережением. В этой ситуации возможна реализация автоматических синхронизаторов двумя способами: 1) синхронизатор с постоянным углом опережения включения; и 2) синхронизатор с постоянным временем опережения включения. Синхронизатор с постоянным углом опережения включения реализуется наиболее просто, так как команда на включение формируется заранее, когда угол между векторами напряжений одноименных фаз выключателя равен заданной уставке. Так как величина угла напряжения скольжения, фактически сравнивается текущее значение напряжения скольжения с напряжением опережения включения, являющемся уставкой автоматического синхронизатора. Недостатком такого синхронизатора является его ограниченная точность, так как время опережения включения будет зависеть от разности частот генератора и сети, т. е.

включение может сопровождаться небольшими бросками уравнительного тока. Синхронизатор с постоянным временем опережения включения обеспечивает большую точность, так как команда на включение выключателя формируется с углом опережения включения, рассчитанным по текущей разности частот и заданному времени опережения включения. Таким образом, включение всегда происходит в момент совпадения векторов напряжений по фазе вне зависимости от текущей частоты скольжения. Недостатком таких синхронизаторов является сложность реализации, требующая применения полупроводниковой или современной микропроцессорной элементной базы. В данной лабораторной работе исследуется синхронизатор с постоянным углом опережения включения. Формирование управляющих воздействий на автоматическое изменение частоты вращения и напряжения на выводах генератора не предусмотрено.

### Порядок выполнения работы:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис.4 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Измерительный канал по напряжению А6 модуля ввода-вывода подключен на напряжение скольжения синхронного генератора (между полюсами одноименных фаз выключателя модуля синхронизации).

2) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q7 (модуль трехфазной сети) в положение «Руч».

3) Перевести переключатель SA2 режима управления выключателем Q3 (модуль синхронизации) в положение «Авт».

4) Перевести переключатель SA1 режима управления модулем возбуждения в положение «Руч». Потенциометр RP1 установить в крайнее левое положение.

5) Перевести переключатель SA2 режима управления модулем частотного преобразователя в положение «Руч». Потенциометр RP1 установить в крайнее левое положение. Переключатель SA1 разрешения работы частотного преобразователя установить в среднее положение.

6) Включить питание стенда. Включить питание модулей: измерителя скорости, синхронизации, трехфазной сети.

7) Включить выключатель Q7 модуля трехфазной сети (кнопка SB1).

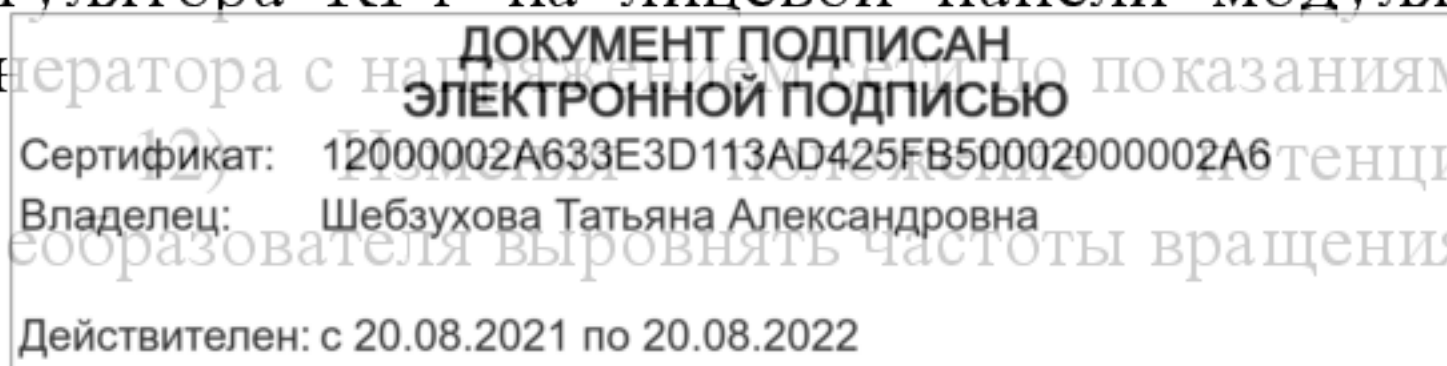
8) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Автоматика ЭЭС – Работа №5 Автоматическая синхронизация генератора с сетью».

9) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

10) Включить модуль частотного преобразователя. Для этого, перевести переключатель SA1 на лицевой панели модуля в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 установить частоту вращения электромашинного агрегата на уровне 1500 об./мин. (по показаниям измерительного прибора модуля измерителя скорости).

11) Включить питание модуля возбуждения и плавно изменяя положение регулятора RP1 на лицевой панели модуля возбуждения выровнять напряжение генератора с напряжением сети по показаниям приборов измерительного модуля.

12) Изменяя положение потенциометра RP1 модуля частотного преобразователя выровнять частоты вращения генератора и сети.



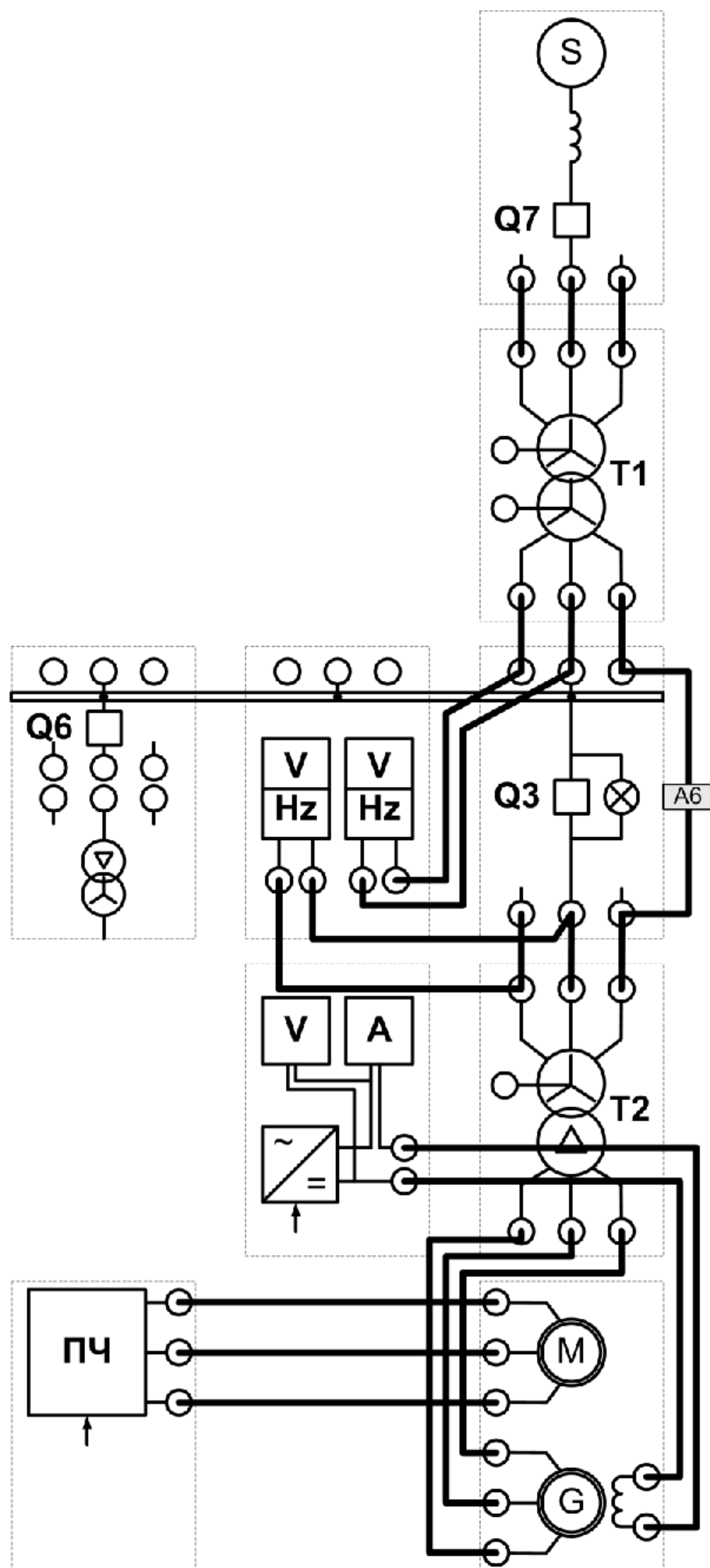


Рис. 4

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

13) Открыть окно настройки параметров автоматического синхронизатора (двойной щелчок ЛКМ по прямоугольнику ТАС на мнемосхеме ПК). Индикаторы «Разность частот в допустимом диапазоне» и «Разность напряжений в допустимом диапазоне» в группе «Индикация» должны иметь зеленый цвет. Если это не так, необходимо скорректировать значение напряжения и/или частоты вращения генератора регуляторами RP1 на лицевых панелях модуля возбуждения и модуля частотного преобразователя. Обратите внимание, что индикаторы достаточно инерционные (до 20с), поэтому регулирование необходимо осуществлять очень медленно.

14) Подать команду на включение генератора переключением ключа управления SB3 на мнемосхеме ПК в положение «Вкл.». Обратит внимание на то, что реальное включение происходит в момент погасания контрольных ламп модуля синхронизации. Отключить генератор от сети (переключением ключа управления SB3 на мнемосхеме ПК в положение «Откл.»).

15) Повторить предыдущий пункт несколько раз, наблюдая за правильностью включения генератора в сеть по контрольным лампам модуля синхронизации.

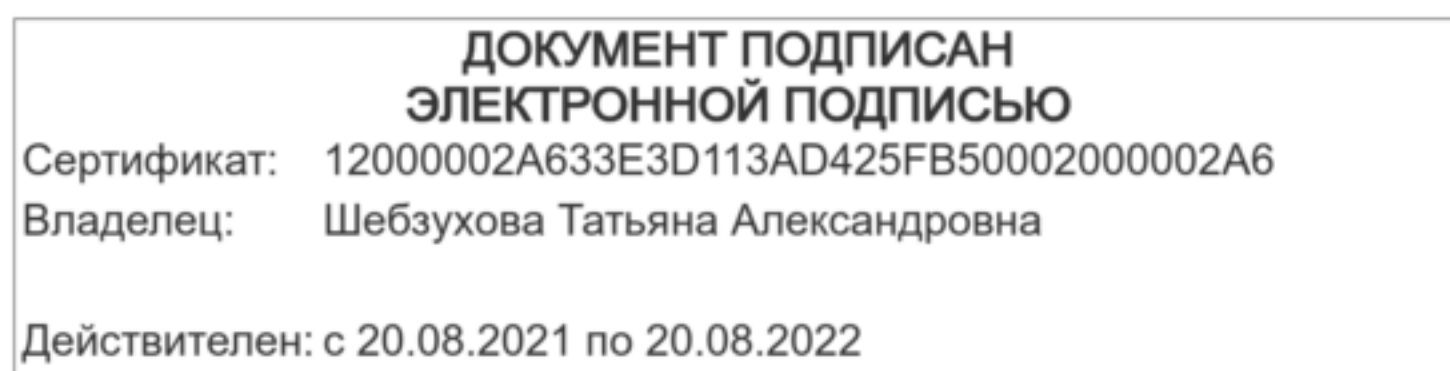
16) Проверить контроль автоматическим синхронизатором двух других условий синхронизации. Для этого, изменить напряжение и/или частоту вращения синхронного генератора до тех пор, пока индикатор «Разность частот в допустимом диапазоне» и/или «Разность напряжений в допустимом диапазоне» в группе «Индикация» окна параметров автоматического синхронизатора будет иметь красный цвет и подать команду на включение генератора в сеть (щелчок ЛКМ по изображению выключателя Q3 на мнемосхеме ПК). Выключатель не должен включиться, так как не выполняется одно или несколько условий синхронизации. Снять команду на включение генератора в сеть (щелчок ЛКМ по изображению выключателя Q3 на мнемосхеме ПК).

17) Снизить ток возбуждения синхронного генератора до нуля и отключить модуль возбуждения. Остановить приводной двигатель переводом переключателя SA1 на лицевой панели модуля частотного преобразователя в нейтральное положение. Остановить работу программы кнопкой «Стоп».

18) Отключить все выключатели. Отключить питание стенда. Оформить отчет по лабораторной работе.

### **Контрольные вопросы:**

1. Объясните назначение устройств автоматической синхронизации?
2. Перечислите условия точной синхронизации с сетью?
3. Что такое напряжение скольжения?
4. Каким образом контролируются все три условия точной синхронизации по единственному параметру — напряжению скольжения?
5. В чем разница между синхронизатором с постоянным углом опережения включения и постоянным временем опережения включения?
6. Что такое самосинхронизация, когда она применяется?



## Лабораторная работа №6

### Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии в централизованных комплексах диспетчерского управления

**Цель работы:** – изучить принципы реализации системы учета электроэнергии

#### *Основы теории:*

1) На лабораторной стойке «Модель электростанции №1» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №1.

2) На лабораторной стойке «Модель электростанции №2» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2.

3) Включить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

4) 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 – АСКУЭ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

5) На персональном компьютере модели электростанции №1 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №1 – АСКУЭ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

6) На персональном компьютере модели электростанции №2 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №2 – АСКУЭ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

7) 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 линий электропередач W1 и W2 со стороны электростанции №1 и №2. Через 10 минут записать текущие показания приборов учета электроэнергии на электростанциях и ЦКДУ.

8) Включить в работу энергоблок электростанции №2. Для этого, перевести тумблер SA1 разрешения работы частотного преобразователя в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, задать уставку по частоте 50 Гц, соответствующую частоте вращения приводного двигателя 1500 об/мин. Включить тумблер подачи питания «Сеть» модуля возбуждения. Плавно повышая сигнал задания потенциометром RP1, установить номинальный ток возбуждения генератора 0,8А. Увеличивая сигнал задания мощности приводного двигателя потенциометром RP1 перевести генератор в режим выдачи активной мощности 50 Вт. Через 10 минут записать текущие показания

приборов учета электроэнергии, определить расход электрической энергии по линиям электропередач и нагрузкам за данный интервал времени.

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

10) На ЦКДУ подать команды теле отключения всех выключателей в электроэнергетической системе. Отключить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.

11) 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.

12) Проанализировать полученные данные, определить баланс по приборам учета электроэнергии, объяснить возможные расхождения. Оформить отчет по лабораторной работе. В отчете отразить, для чего необходим учет электроэнергии, в чем разница между коммерческим и техническим учетом электроэнергии, зачем необходим учет реактивной электрической энергии.

### ***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.

#### **ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

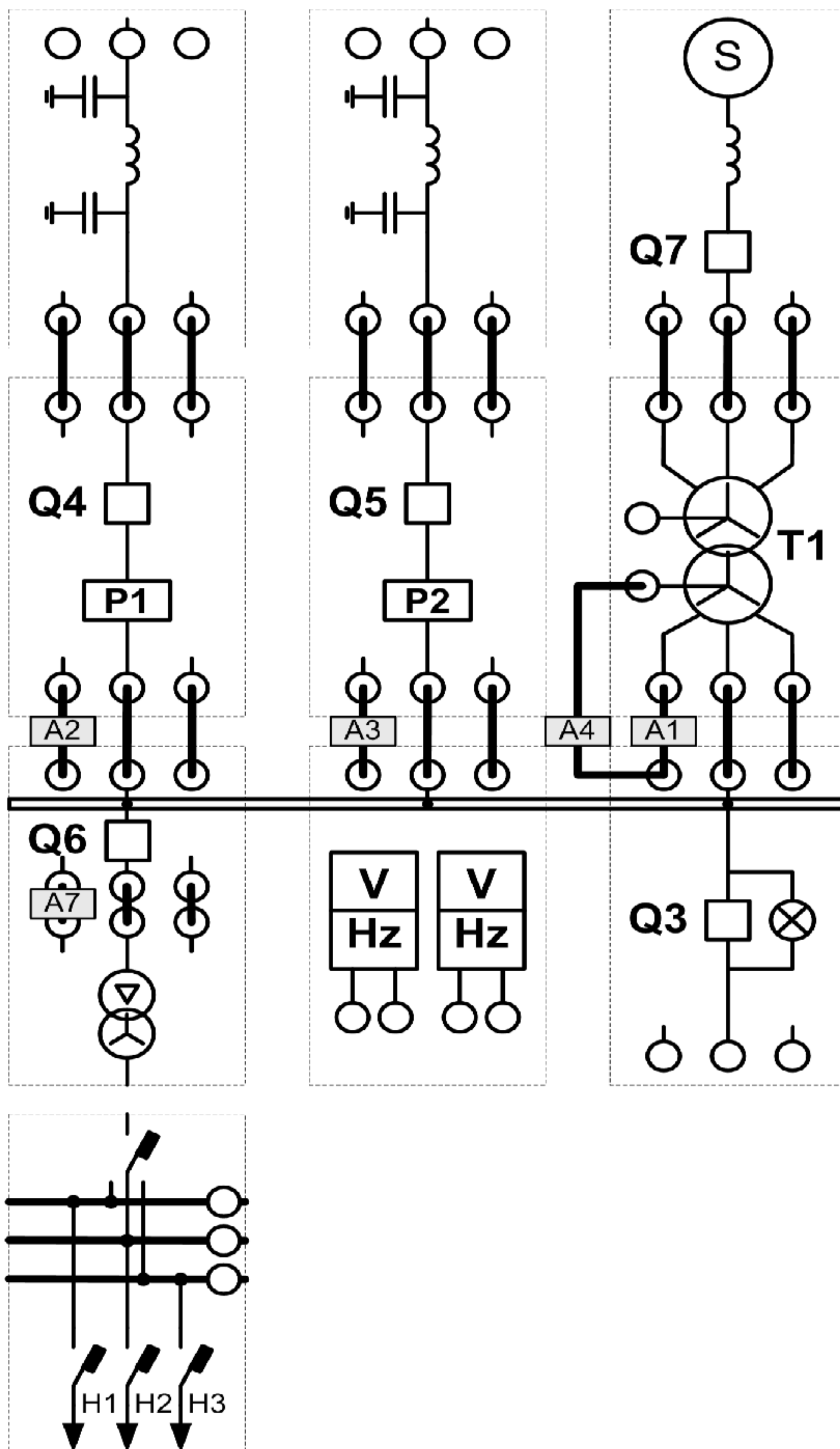


Рисунок 1. Специальная схема «Балансирующий узел нагрузкой»

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

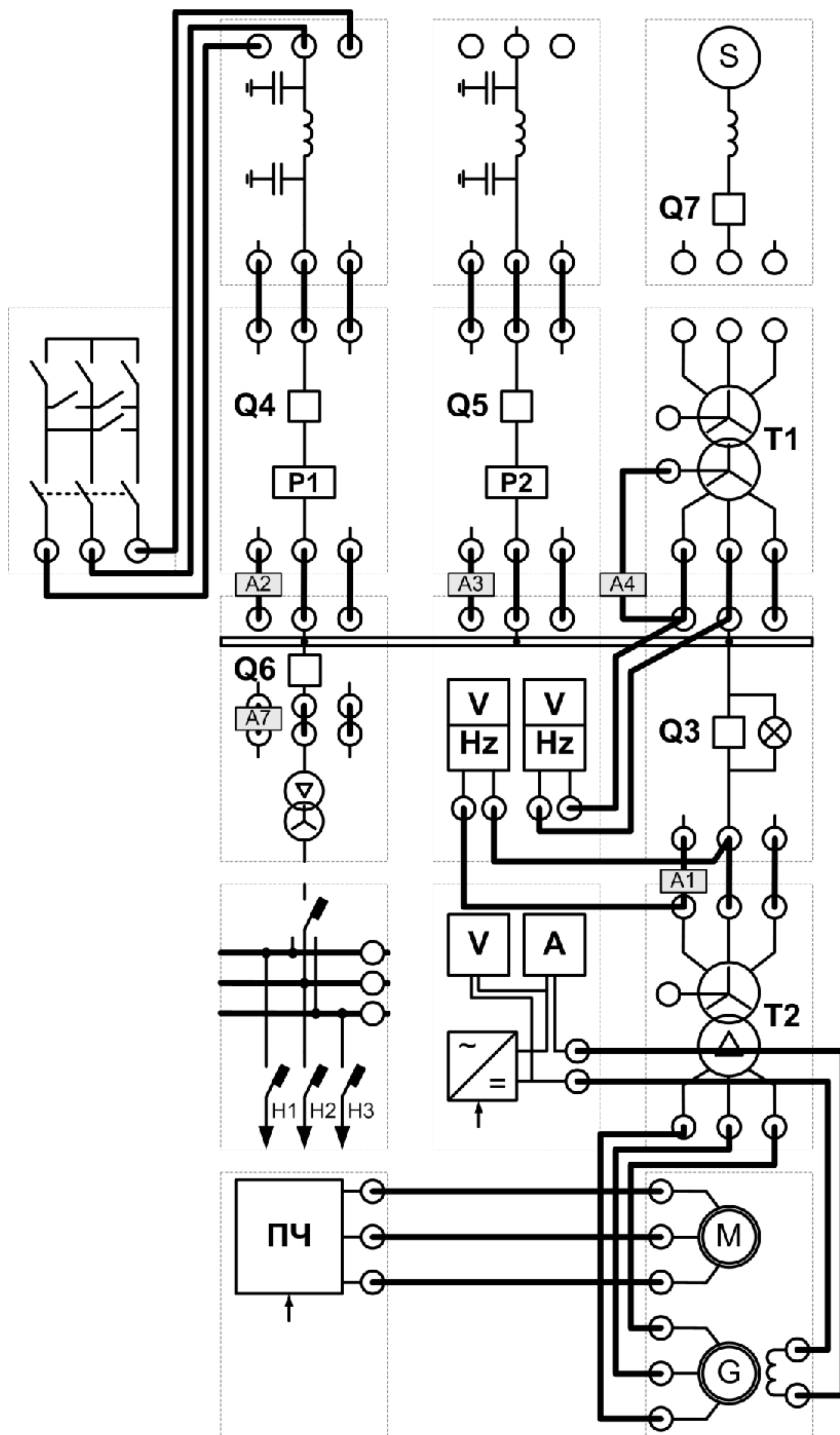


Рисунок 6.2. Принципиальная схема «Узел с генерацией мощности и нагрузкой»

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

***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?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Список литературы

### Основная

1. Смурнов, Е.С. Автоматизация и диспетчеризация систем электроснабжения / Е.С. Смурнов. – Москва : Лаборатория книги, 2010. – 101 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=86340>
2. Богданов, А.В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматизации в электроэнергетических системах / А.В. Богданов, А.В. Бондарев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет, Кумертауский филиал ОГУ. – Оренбург : ОГУ, 2016. – 82 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481747>
3. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС). Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.10.248, 2017. [http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO\\_56947007-29.240.10.248-2017.pdf](http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.10.248-2017.pdf)

### Дополнительная:

1. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы / И.А. Елизаров, А.А. Третьяков, А.Н. Пчелинцев и др. ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 160 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444643>
2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции [Электронный ресурс]: 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. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847>

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

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

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

**Методические указания**  
по организации самостоятельной работы обучающихся  
по дисциплине «УСТРОЙСТВО ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ»  
для студентов направления подготовки  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Содержание

### Введение

- 1      Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Устройство цифровых подстанций»
- 2      План-график выполнения самостоятельной работы
- 3      Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 4      Список рекомендуемой литературы.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

### 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ДИСЦИПЛИНЫ «УСТРОЙСТВА ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины «Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах» предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- выполнение контрольной работы
- выполнение индивидуальных творческих заданий.

**Цель самостоятельного изучения литературы** – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

**Задачами** самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие способностей и активности студентов.

|                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                       |  |                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br/>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</div> <div>Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6<br/>Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна<br/>Код формулировки<br/>Действителен с: 20.08.2021 по 20.08.2022</div> <div>Код формулировки индикатора</div> |                                       |  | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов |
| ПК-1 Способен участвовать в                                                                                                                                                                                                                                                | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает типовые |  | Знает цифровые протоколы связи,                                                                                     |

|                                        |                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| проектировании систем электроснабжения | проектные решения систем электроснабжения | источники и закономерности движения и преобразования информационных потоков в современных цифровых системах управления объектами электроэнергетики.<br>Умеет использовать возможности микропроцессорных устройств РЗА и интеллектуальных электронных устройств для реализации стандартных задач защиты, автоматики, управления, учета и мониторинга.<br>Владеет навыками решения задач параметрирования и конфигурирования микропроцессорных устройств РЗА и интеллектуальных электронных устройств цифровой подстанции. |
|----------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 2 ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Технологическая карта самостоятельной работы студента

| Коды реализуемых компетенций (индикатора) | Вид деятельности студентов                        | Итоговый продукт самостоятельной работы | Средства и технологии оценки | Объем часов, в том числе |                                    |       |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|
|                                           |                                                   |                                         |                              | СРС                      | Контактная работа с преподавателем | Всего |
| 8 семестр                                 |                                                   |                                         |                              |                          |                                    |       |
| ПК-1<br>ИД-2 <sub>ПК-1</sub>              | Самостоятельное изучение литературы по темам №1-5 | Конспект                                | Собеседование                | 57,51                    | 6,39                               | 63,9  |
|                                           | Подготовка к лабораторным работам                 | Отчет (письменный)                      | Собеседование                | 1,215                    | 0,135                              | 1,35  |
| Итого за 8 семестр                        |                                                   |                                         |                              | 58,725                   | 6,525                              | 65,25 |

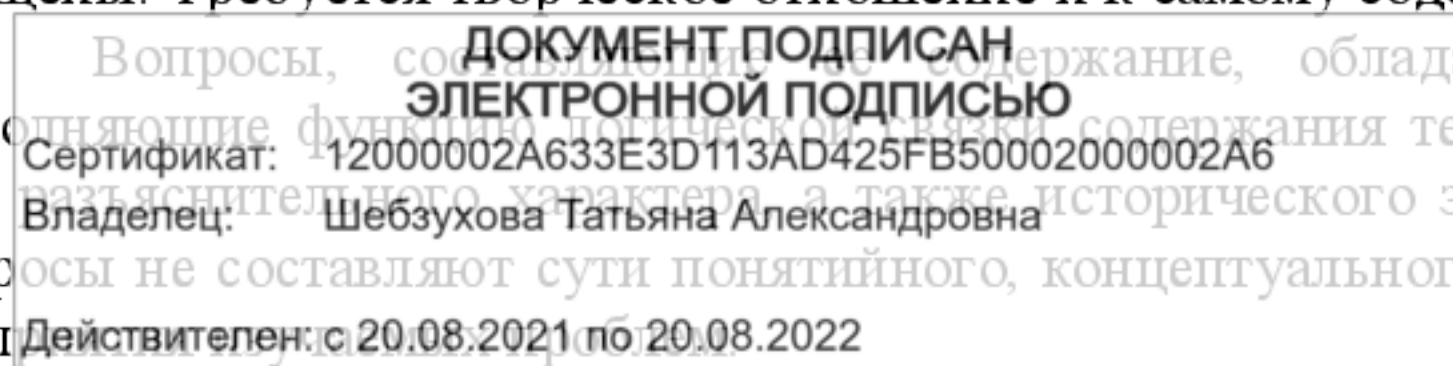
## 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию подведения к сути содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия материала.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного



понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

### Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

4. Смурнов, Е.С. Автоматизация и диспетчеризация систем электроснабжения / Е.С. Смурнов. – Москва : Лаборатория книги, 2010. – 101 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=86340>
5. Богданов, А.В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматизации в электроэнергетических системах / А.В. Богданов, А.В. Бондарев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет, Кумертауский филиал ОГУ. – Оренбург : ОГУ, 2016. – 82 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481747>
6. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС). Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007- 29.240.10.248, 2017. [http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO\\_56947007-29.240.10.248-2017.pdf](http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.240.10.248-2017.pdf)

#### **Дополнительная:**

1. Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы / И.А. Елизаров, А.А. Третьяков, А.Н. Пчелинцев и др. ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет». – Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 160 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444643>
2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции [Электронный ресурс]: 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. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847>

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022