

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского  
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 16:48:04

Уникальный программный ключ: «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

# Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «УСТРОЙСТВА ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

## **Содержание:**

Работа №1 Автоматическое повторное включение линии электропередачи.....
Работа №2 Автоматическое включение резерва питающего присоединения....
Работа №3 Автоматическое регулирование частоты вращения синхронного генератора.....
Работа №4 Автоматическое регулирование возбуждения синхронного генератора.....
Работа №5 Автоматическая синхронизация генератора с сетью.....
Работа №6 Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии в централизованных комплексах диспетчерского управления.....

# **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.

Формируемые компетенции: ПК-1

## **Общие сведения:**

Автоматическое повторное включение (АПВ) линии электропередачи – один из самых распространенных видов автоматики в сетях от 6 до 500 кВ. Повсеместное использование АПВ линий электропередач обусловлено тем, что большая часть коротких замыканий является само устраниющимися. 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 задержкой 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 управляет 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!).

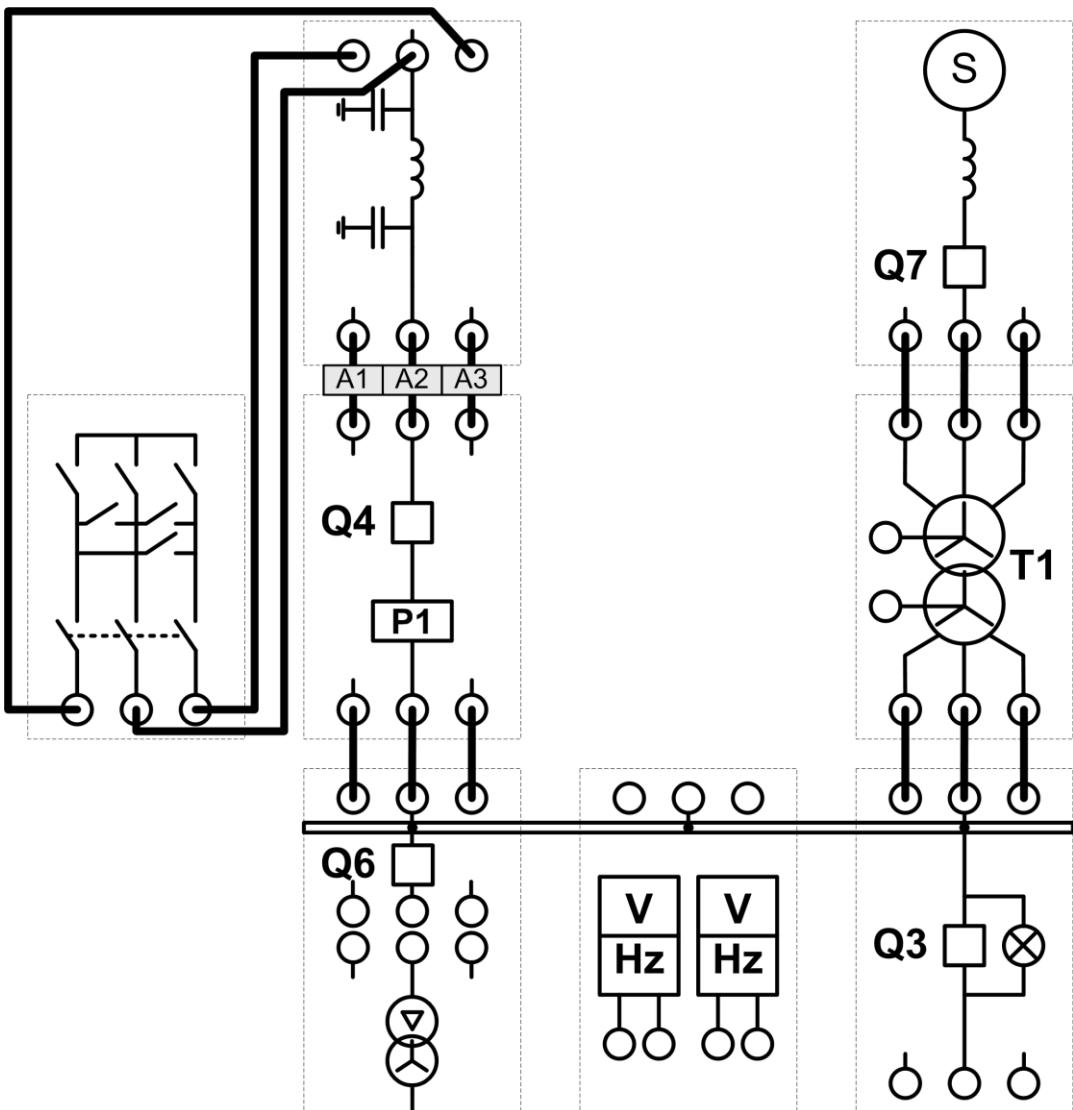


Рис. 1.1

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 «Аvt». 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 питание стенда. Включить выключатель Q7 (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной сети).

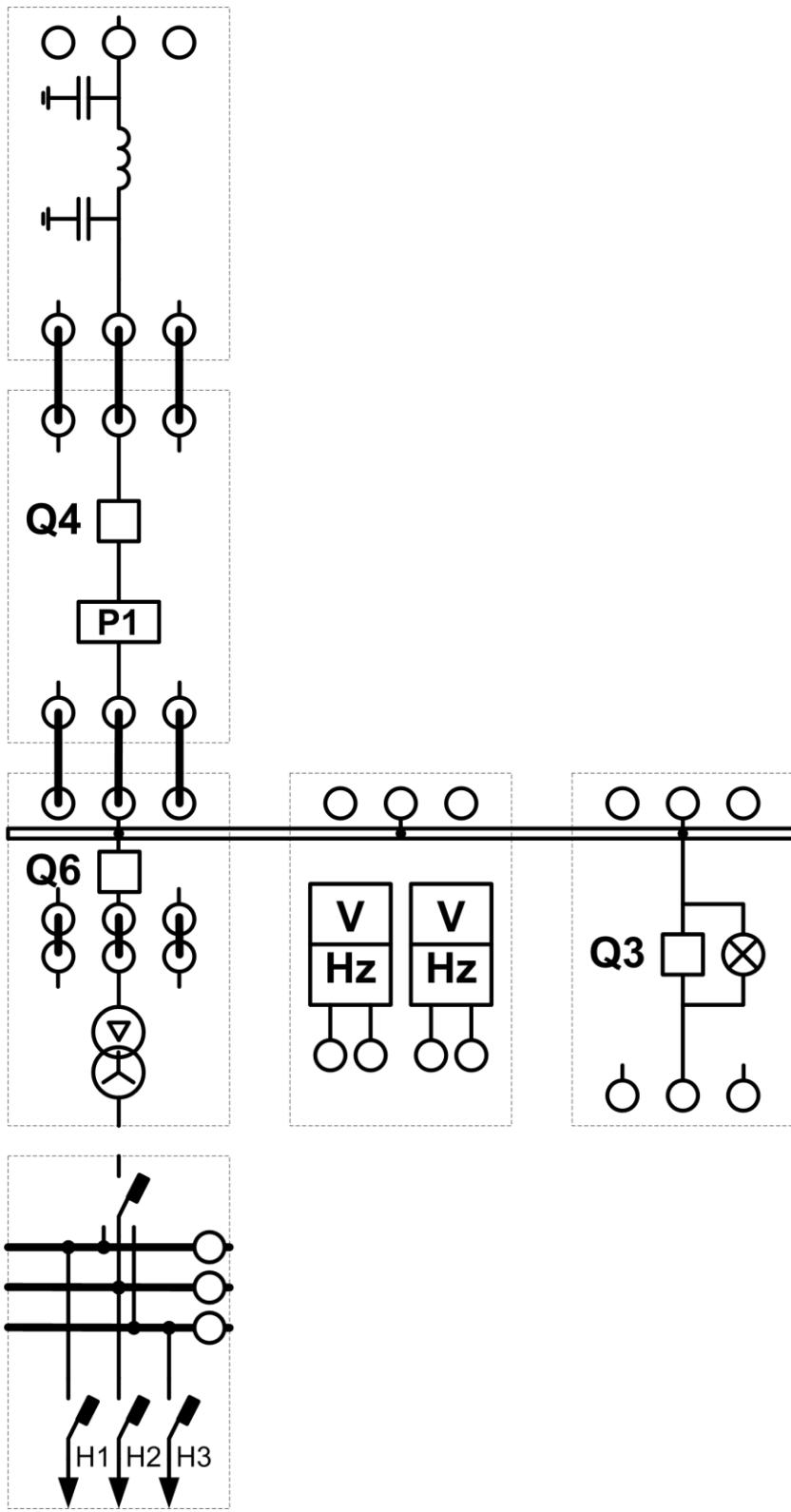


Рис. 1.2

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

8) В программе «DeltaProfi» перевести защиту в режим работы «действие на сигнал» (двойной щелчок левой кнопкой мыши на прямоугольнике «МТЗ», в появившемся диалоговом окне установить переключатель «Режим работы» в положение «сигнал»).

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  $I_{раб.макс.}$ . Отключить выключатель Q4. Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6.

12) Рассчитать ток срабатывания защиты  $I_{C3} = I_{раб.макс.} \cdot K_H \cdot K_3 / K_{воз.}$ . Коэффициент надежности  $K_H$  принять равным 1,2.

Коэффициент запуска двигательной нагрузки  $K_3$  принять равным 1. Коэффициент возврата реле тока  $K_{воз.}$  принять равным 0,95. Рассчитать ток срабатывания реле тока  $I_{CP} = I_{C3} \cdot K_{CX} / n_T$ . Коэффициент трансформации трансформатора тока  $n_T$  принять равным 1. Коэффициент схемы  $K_{CX}$  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. Убедится 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 устраниющемя 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 3-4 раза. 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 , 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?

## **Работа №2 Автоматическое включение резерва питающего присоединения**

### **Цель работы:**

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

Формируемые компетенции: ПК-1

### **Общие сведения:**

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) На лабораторных стойках №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.

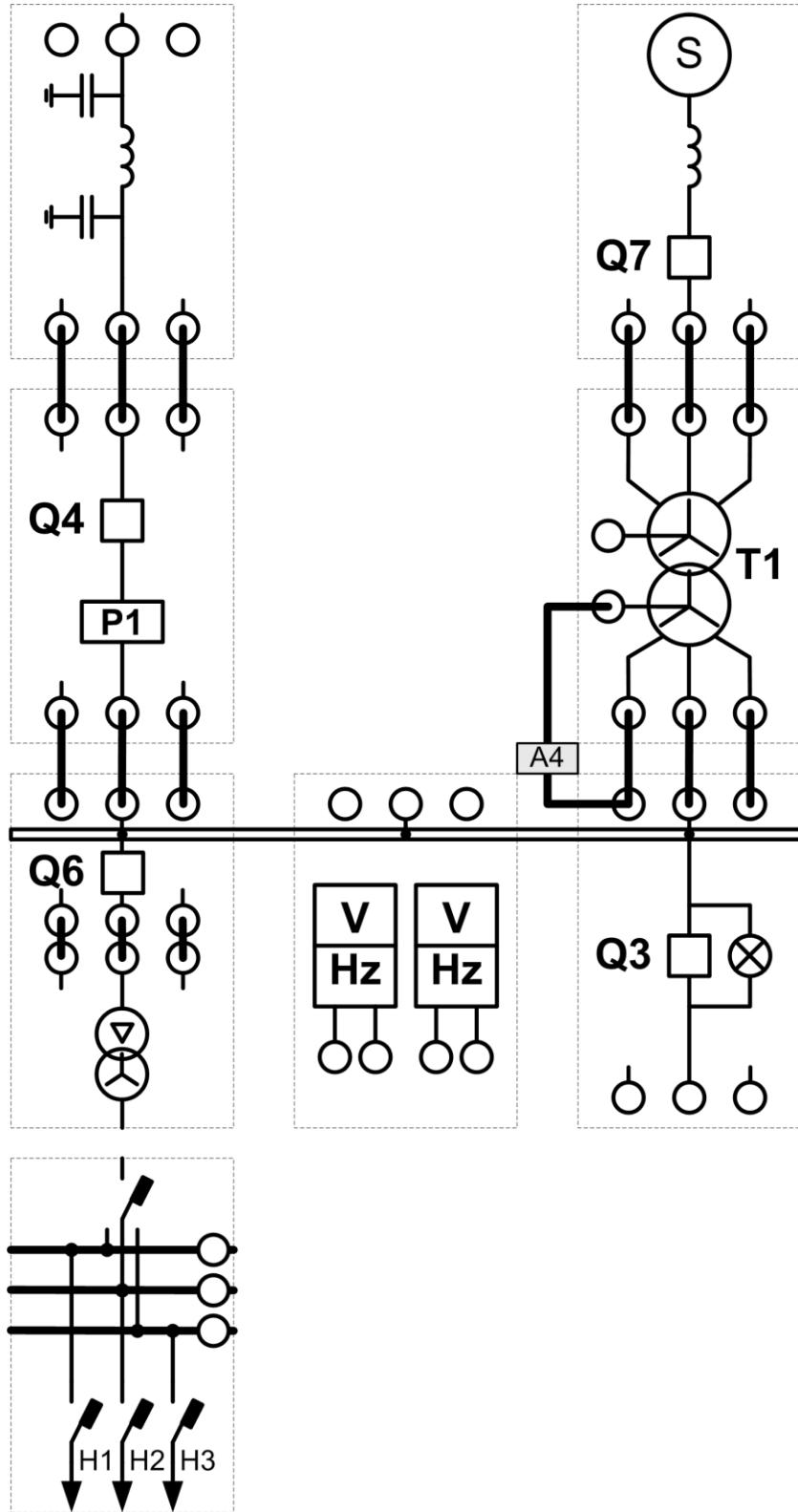


Рис. 2

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 переключатели SA2 режима управления выключателями Q4 и Q7 в положение «Аvt». Перевести переключатель SA2 режима управления

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. Как выбираются уставки срабатывания АВР?
4. Перечислите случаи, в которых АВР должно приходить в действие?
5. В чем разница между АВР одностороннего и двухстороннего действия?

## **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.
- Формируемые компетенции: ПК-1

### **Общие сведения:**

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 A1 модуля ввода включен последовательно в фазу А силового трансформатора T2 со стороны сборных шин. Измерительный канал по напряжению A4 модуля ввода-вывода подключен параллельно между фазой А и нейтралью силового трансформатора T2.

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

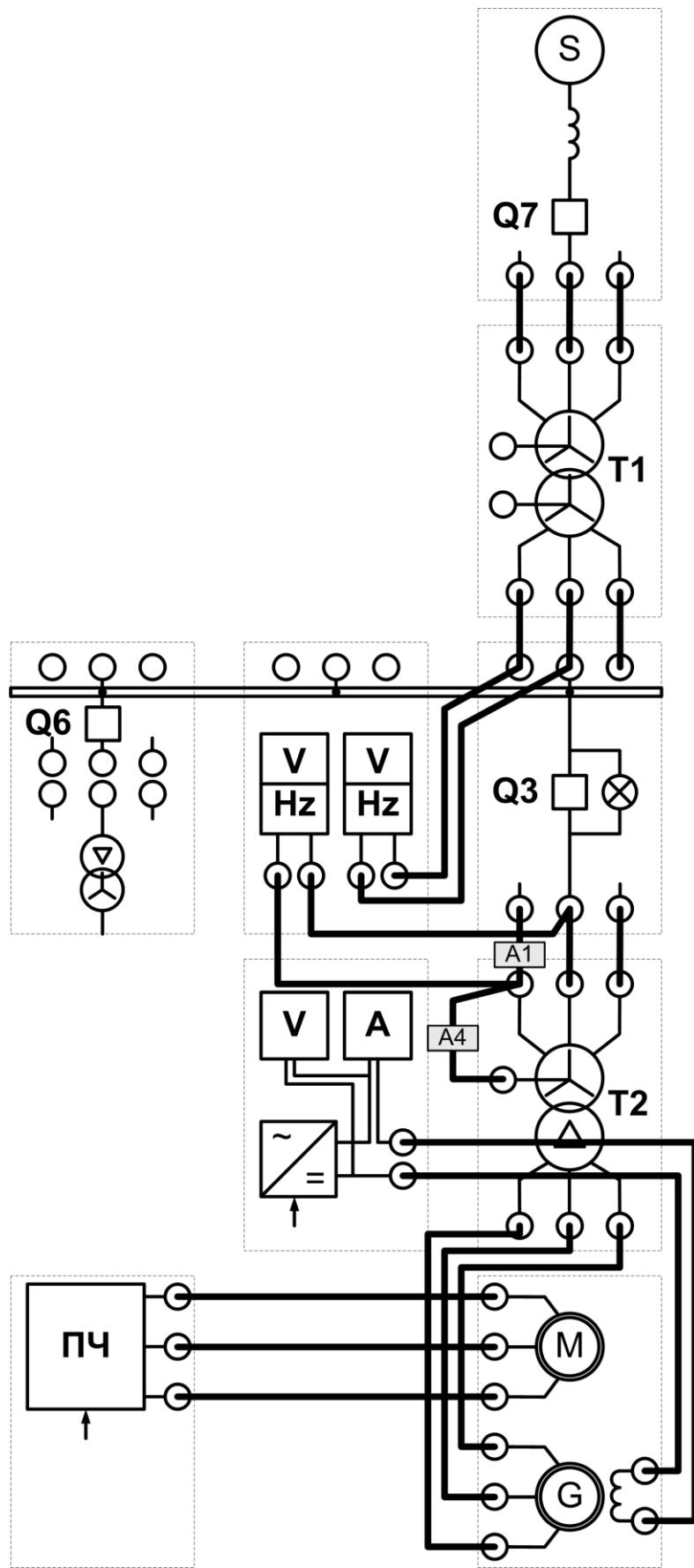


Рис. 3

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 «Аvt». 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 электромашинного агрегата с частотой в сети.

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

13) По показаниям синхроископа 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 0.5Рном), 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 электромашинного 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 превышает заданную, 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.

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 уставки 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?

### **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.

Формируемые компетенции: ПК-1

#### **Общие сведения:**

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 — корректором напряжения. Современные системы АРВ как правило, реализуют и то и другое, кроме того, АРВ также обеспечивает форсировку возбуждения синхронного генератора при близких коротких замыканиях. Различают 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 A1 модуля ввода включен последовательно в фазу А силового трансформатора T2 со стороны сборных шин. Измерительный канал по напряжению A4 модуля ввода-вывода подключен параллельно между фазой А и нейтралью силового трансформатора T2.

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 СГ».

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 синхроископа включить выключатель Q3 модуля синхронизации (кнопка SB1 на лицевой панели модуля) в момент совпадения векторов по фазе (момент погасания контрольных ламп).

14) Медленно изменяя положение потенциометра RP1 модуля частотного преобразователя увеличивать 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?

## **Работа №5 Автоматическая синхронизация генератора с сетью**

### **Цель работы:**

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

Формируемые компетенции: ПК-1

### **Общие сведения:**

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 уравнительного 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 в момент времени, когда угол между векторами напряжений одноименных фаз снижается до заранее заданной уставки. Так как величина угла между векторами соответствует величине напряжения скольжения, фактически сравнивается текущее значение напряжения скольжения с напряжением опережения включения, являющимся 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 изменения 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.

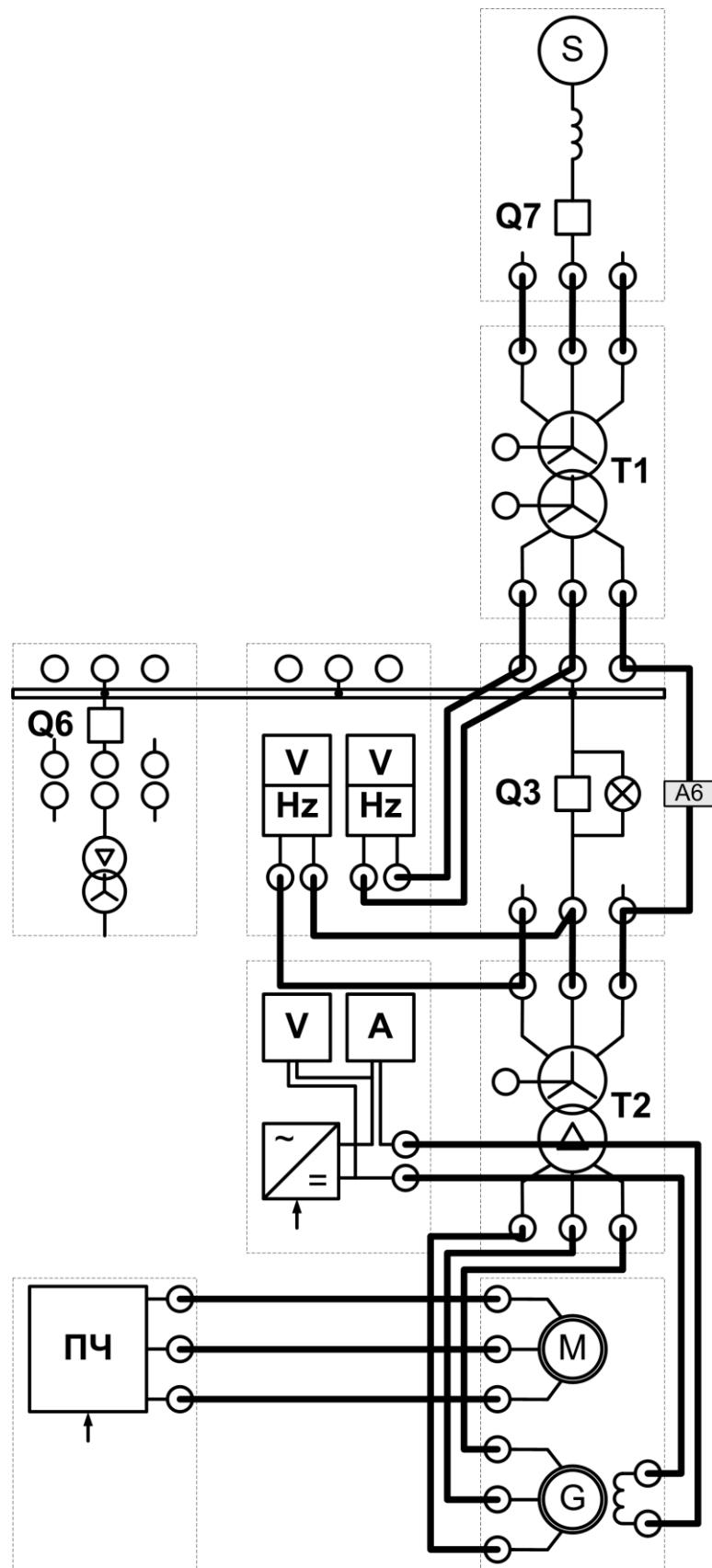


Рис. 4

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.». Обратить 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 включаться, 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

Тема: Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии в централизованных комплексах диспетчерского управления

Цель работы: – изучить принципы реализации системы учета электроэнергии

Формируемые компетенции: ПК-1

### Порядок выполнения работы:

- 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 50Гц, соответствующую частоте вращения приводного двигателя 1500 об/мин. Подать дистанционную команду на включение генераторного выключателя Q3. Включить тумблер подачи питания «Сеть» модуля возбуждения. Плавно повышая сигнал задания потенциометром RP1, установить

номинальный ток возбуждения генератора 0,8А. Увеличивая сигнал задания мощности приводного двигателя потенциометром RP1 перевести генератор в режим выдачи активной мощности 50 Вт. 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.

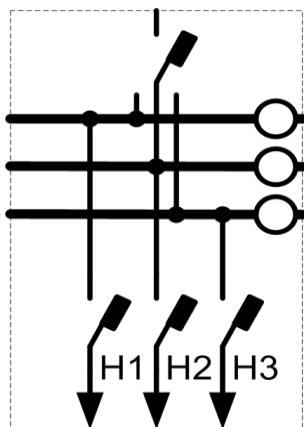
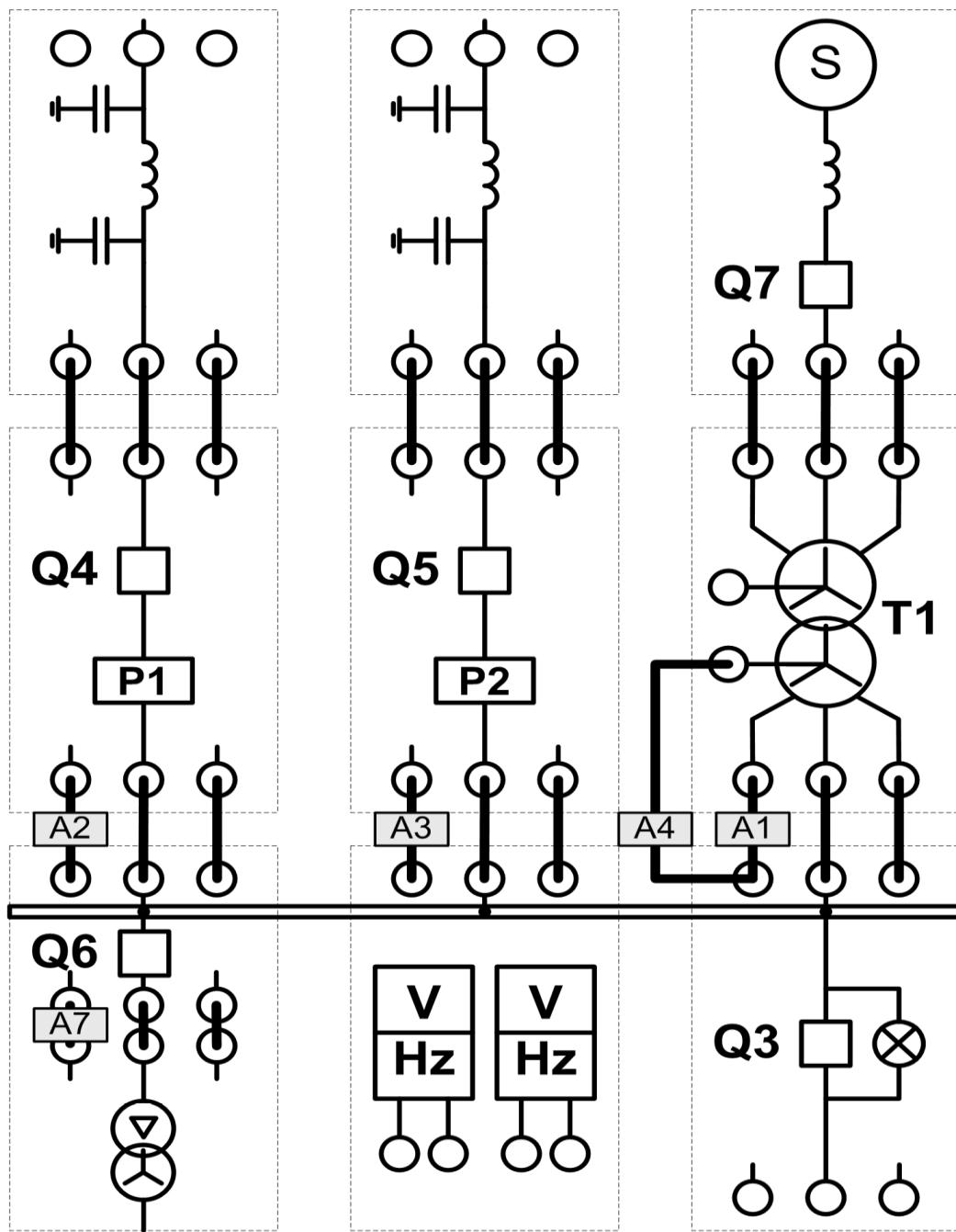


Рисунок 6.1 – Принципиальная схема «Балансирующий узел нагрузкой»

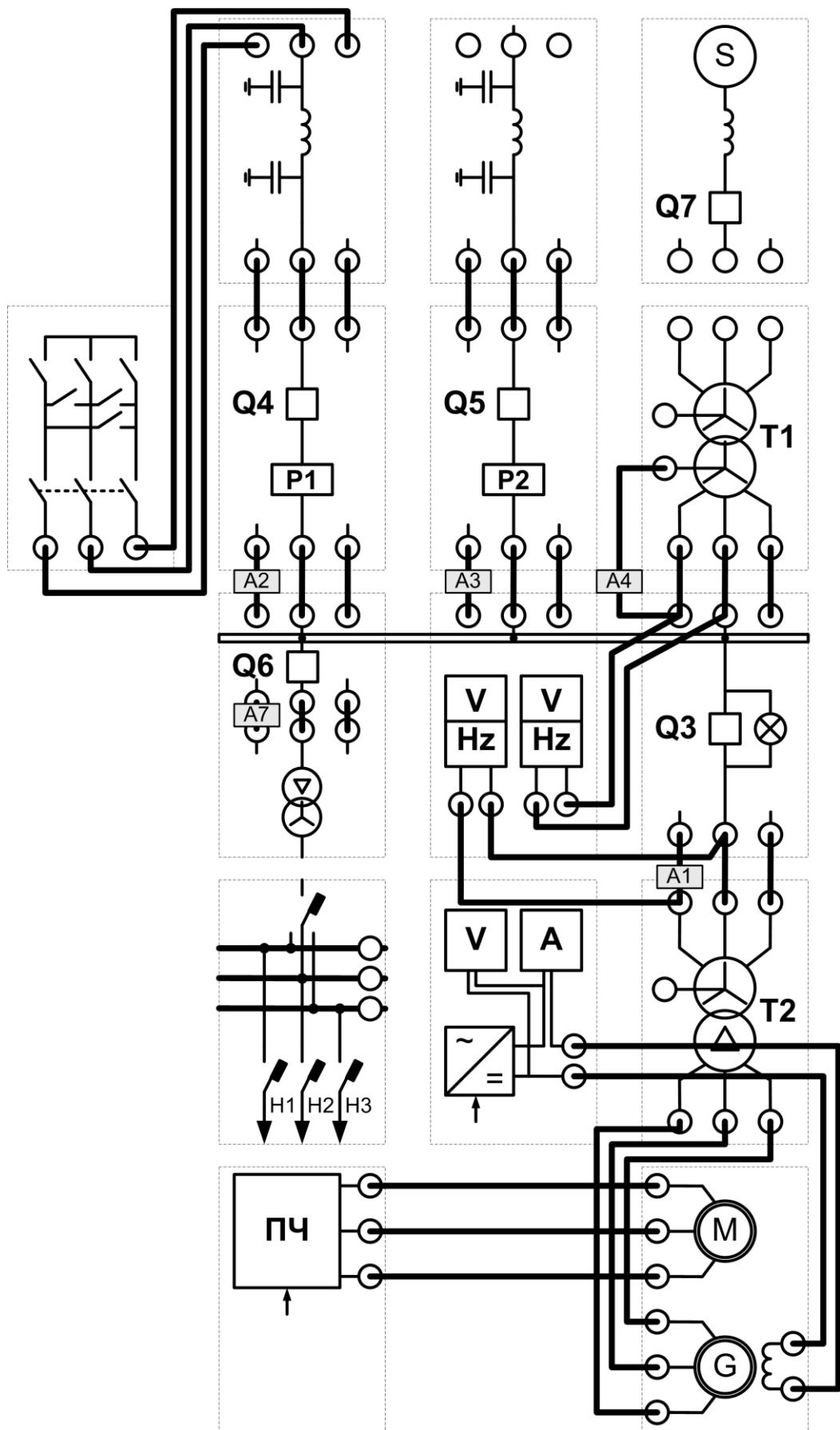


Рисунок 6.2 – Принципиальная схема «Узел с генерацией мощности и нагрузкой»

***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?

## **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>

### **Информационные справочные системы:**

1. <http://www.fsk-ees.ru/>
2. <http://www.interraо.ru/>
3. <http://www.rosseti.ru/>
4. <http://so-ups.ru/>
5. <http://www.kids.myenergy.ru>
6. <http://www.rosenergoatom.ru/>
7. <http://minenergo.gov.ru/>
8. <http://www.it-energy.ru/>
9. <http://digitalsubstation.ru/>
10. <http://www.rushydro.ru/>