

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

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

Дата подписания: 12.09.2023 16:44:45

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## Методические указания

по выполнению лабораторных работ

по дисциплине «Электрические станции и подстанции»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

## Содержание

| №<br>п/п | Содержание                                                                                                                                                                                                                                   | Стр. |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|          | Введение                                                                                                                                                                                                                                     | 3    |
| 1.       | Лабораторная работа №1. Ручное/автоматическое управление включением синхронного генератора на параллельную работу по способу самосинхронизации, точной синхронизации, работающего параллельно с электрической системой бесконечной мощности. | 4    |
| 2.       | Лабораторная работа №2. Ручное/автоматическое управление режимом автономно работающего синхронного генератора.                                                                                                                               | 17   |
| 3.       | Лабораторная работа №3. Натурное моделирование установившегося режима работы трансформатора.                                                                                                                                                 | 28   |
| 4.       | Лабораторная работа №4. Пуск и регулирование реактивной мощности синхронного компенсатора.                                                                                                                                                   | 38   |
| 5.       | Лабораторная работа №5. Прямой/реакторный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.                                                                                                                                            | 44   |
| 6.       | Лабораторная работа №6. Самозапуск асинхронного электродвигателя.                                                                                                                                                                            | 52   |
| 7.       | Лабораторная работа №7. Исследование влияния на статическую устойчивость натурального синхронного генератора вида короткого замыкания в электроэнергетической системе.                                                                       | 66   |
| 8.       | Лабораторная работа №8. Определение соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети, питающейся от источника практически бесконечной мощности.                                               | 72   |
| 9.       | Лабораторная работа №9. Диспетчерское управление в электроэнергетических системах.                                                                                                                                                           | 82   |
|          | Приложения                                                                                                                                                                                                                                   | 93   |

## Введение

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

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

## ***Лабораторная работа №1***

**Тема:** Ручное/автоматическое управление включением синхронного генератора на параллельную работу по способу самосинхронизации, точной синхронизации, работающего параллельно с электрической системой бесконечной мощности.

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

### ***Формируемые компетенции:***

| Код  | Формулировка                                                                                            |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1 | Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов.                                 |
|      | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем электроснабжения объектов |
|      | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает типовые проектные решения систем электро-снабжения объектов.              |
| ПК-2 | Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов.                                  |
|      | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает параметры электрооборудования системы электроснабжения объекта.       |
|      | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта.                       |

### ***Теоретическая часть:***

При точной синхронизации генератор включается в возбужденном состоянии при ЭДС холостого хода, практически равной напряжению на шинах электростанции (при блочной схеме определяемому с учетом трансформатора). Выключатель синхронного генератора включается при

весьма малом скольжении в момент совпадения по фазе ЭДС генератора и напряжения на шинах электростанции. После небольших затухающих качаний ротора генератор входит в синхронный режим работы.

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

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

Автоматический синхронизатор обеспечивает выполнение наиболее ответственной операции точной синхронизации по обеспечению совпадения по фазе ЭДС генератора и напряжения на шинах электростанции в момент включения выключателя генератора. Он выдает управляющее воздействие на включение привода выключателя с опережением момента времени совпадения находящихся в относительном вращении векторов вышеупомянутых величин, т.е. при наличии между ними уменьшающегося угла сдвига по фазе – угла опережения.

Исторически первые автоматические синхронизаторы определяли заданный неизменный угол опережения и назывались автоматическими синхронизаторами с постоянным углом опережения. Однако угол опережения при постоянном времени включения выключателя должен быть

переменным, зависящим от характера и параметров относительного движения двух указанных выше векторов. Поэтому современные автоматические синхронизаторы определяют момент включения выключателя таким образом, чтобы не угол, а время опережения оставалось постоянным.

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

***Перечень используемого оборудования:***

| Обозначение | Наименование                       | Тип   | Параметры                                                          |
|-------------|------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------|
| A1          | Трехполюсный выключатель           | 301.1 | 400 В ~; 10 А                                                      |
| A2          | Трехфазная трансформаторная группа | 347.3 | 380 ВА (звезда) / 220, 225, 230 В / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В |
| A3          | Модель линии электропередачи       | 313.2 | 400 В ~; 3 0,5 А                                                   |
| A4          | Трехфазная трансформаторная группа | 347.4 | 380 ВА / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В /                          |

|     |                                                            |       |                                                                                       |
|-----|------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                            |       | (треугольник)<br>220, 225, 230 В                                                      |
| A5  | Блок синхронизации                                         | 319   | 400 В ~; 10 А<br>3<br>индикаторные<br>лампы;<br>синхроноскоп                          |
| A6  | Измеритель напряжений и частот                             | 504.2 | 2 вольтметра<br>0...500 В ~<br>2 частотомера<br>45...55 Гц;<br>220 В ~                |
| A7  | Указатель частоты вращения                                 | 506.3 | 2000...0...2000<br>мин <sup>1</sup>                                                   |
| A8  | Блок измерительных<br>трансформаторов<br>тока и напряжения | 401.1 | 600 В / 3 В<br>(тр-р напряж.)<br>0,3 А / 3 В<br>(тр-р тока)                           |
| A9  | Терминал                                                   | 304   | 6 розеток с<br>8 контактами;<br>68 гнезд                                              |
| A10 | Блок ввода-вывода цифровых<br>сигналов                     | 331   | 8 входов типа<br>«сухой<br>контакт»;<br>8 релейных<br>выходов                         |
| A11 | Коннектор                                                  | 330   | 8 аналог. диф.<br>входов;<br>2 аналог.<br>выхода;<br>8 цифр. входов/<br>выходов       |
| A12 | Персональный компьютер                                     | 550   | IBM<br>совместимый,<br>Windows XP,<br>монитор,<br>мышь,<br>клавиатура,<br>плата сбора |

|    |                                                |       |                                                                             |
|----|------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                |       | информации<br>РСІ 6024Е                                                     |
| G1 | Трехфазный источник питания                    | 201.4 | 400 В ~; 16 А                                                               |
| G2 | Источник питания двигателя<br>постоянного тока | 206.1 | Цепь якоря<br>0...250 В; 3 А<br>Цепь<br>возбуждения<br>200 В ; 1 А          |
| G3 | Возбудитель синхронной машины                  | 209.3 | 0...40 В ; 3,5 А                                                            |
| G4 | Машина переменного тока                        | 102.1 | 100 Вт / ~ 230<br>В /<br>1500 мин <sup>1</sup>                              |
| G5 | Преобразователь угловых<br>перемещений         | 104   | 6 вых. каналов /<br>2500<br>импульсов<br>за оборот                          |
| M1 | Машина постоянного тока                        | 101.2 | 90 Вт / 220 В /<br>0,56 А (якорь) /<br>2×110 В / 0,25<br>А<br>(возбуждение) |

***Указание по технике безопасности:***

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

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

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



- Соедините гнезда защитного заземления "■" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
- Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Электрические схемы соединений экспериментов 2, 3, 4 настоящего Руководства различаются незначительно. Самой общей и полной является схема эксперимента 3. Соединив аппаратуру в соответствии со схемой эксперимента 3, можно выполнить эксперименты 2, 3 и 4 без повторной разборки-сборки схемы.
- Переключатели номинальных фазных напряжений трехфазных трансформаторных групп A2 и A4 установите соответственно равными 220 и 230 В. Параметры линии электропередачи A3 установите следующими:  $R = 50 \text{ Ом}$ ,  $L/R_L = 0,9 \text{ Гн} / 24 \text{ Ом}$ ,  $C1=C2=0 \text{ мкФ}$ .
- Готовим схему и проводим эксперимент в ручном режиме.
- Переключатели режимов работы трехполюсного выключателя A1, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины, блока синхронизации A5 установите в положение «РУЧН.». Тумблеры делителей напряжения коннектора A11 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора A11 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока A10 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0...DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4...DIO7.
- Включите выключатели «СЕТЬ» трехполюсного выключателя A1, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3

синхронной машины, указателя А7 частоты вращения, блока А5 синхронизации.

- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Включите выключатель А1 нажатием на кнопку «ВКЛ.» на его передней панели.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А12 и запустите программу «Точная синхронизация».
- Запустите сбор данных в ручном режиме, нажав для этого виртуальную кнопку «Запустить»  или выбрав соответствующий пункт в меню «Действия».
- Наблюдая изменения параметров генератора и сети по виртуальному графопостроителю программы, включите генератор на параллельную работу с сетью методом точной синхронизации. Для этого выполните следующие действия:
  - Включите источник G2, нажав на кнопку «ВКЛ.» на его передней панели. Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите частоту вращения двигателя М1 (генератора G4)  $1500 \text{ мин}^{-1}$ .
  - Включите возбудитель G3, нажав на кнопку «ВКЛ.» на его передней панели. Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, установите напряжение между фазами (линейное) генератора G4 равным линейному напряжению сети. Равенство напряжений и частот генератора и сети определяйте по измерителю А6.
  - Обеспечьте условия синхронизации согласно табл. 4. (см. эксперимент 1.1.1) и подключите генератор к сети нажатием на кнопку «ВКЛ.» блока А5 синхронизации.
  - Готовим аппаратуру и проводим эксперимент в автоматическом режиме.

- Остановите сбор данных, нажав для этого виртуальную кнопку «Остановить»  или выбрав соответствующий пункт из меню «Действия».
- Остановите силовой агрегат, выполнив следующие действия:
- Отключите генератор от сети, нажав для этого кнопку «ОТКЛ.» блока А5 синхронизации.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, снимите возбуждение с генератора G4. Отключите возбудитель G3 нажатием на кнопку «ОТКЛ.» на его передней панели.
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2 против часовой стрелки до упора, остановите двигатель M1 (генератор G4). Отключите источник G2 нажатием на кнопку «ОТКЛ.» на его передней панели.
- Переключатели режима работы блока А5 синхронизации, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины установите в положение «АВТ.».
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока ввода-вывода цифровых сигналов.
- Выберите автоматический режим синхронизации генератора, нажав для этого соответствующую виртуальную кнопку  на экране компьютера.
- Задайте уставки управления  процессом точной синхронизации. Например, оставьте уставки, заданные по умолчанию.
- Нажмите на виртуальную кнопку программы «Запустить» . Генератор должен разогнаться, возбудиться, подключиться к сети, поработать несколько секунд, отключиться от сети и остановиться.
- Нажмите на виртуальную кнопку программы «Отобразить записанный процесс» . На экране графопостроителя появятся зависимости записанных режимных параметров от времени. Проанализируйте их.
- Для проведения исследования влияния параметров синхронизации (скольжения, разницы напряжений генератора и сети, угол или время

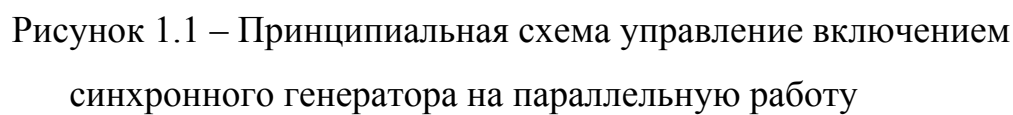
опережения и др.) на процесс синхронизации повторяйте эксперимент, задавая требуемыми значениями упомянутых параметров.

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

**Ниже перечислены некоторые замечания.**

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

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



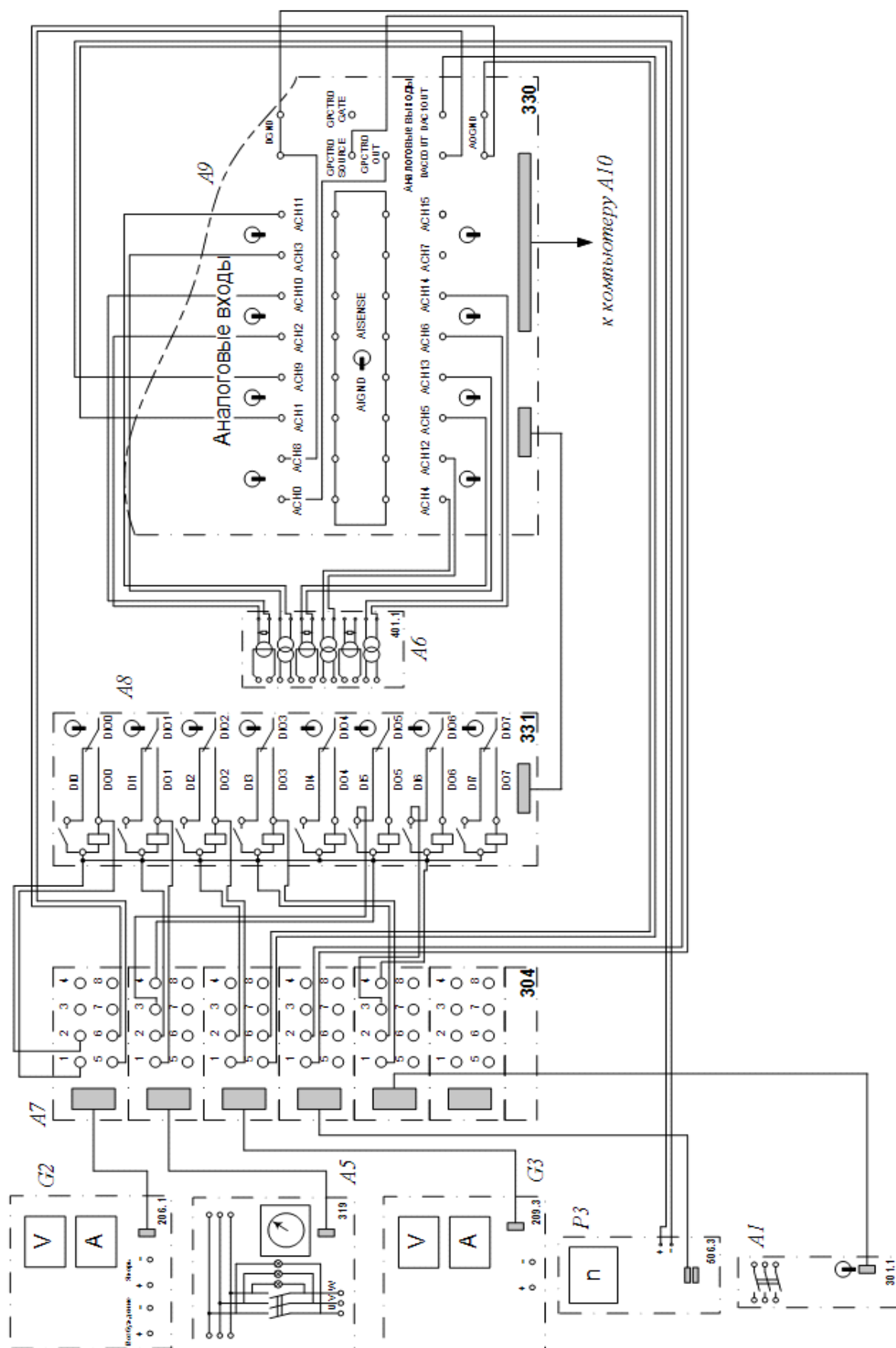


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема модуля ввода-вывода к коннектору

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

### ***Контрольные вопросы:***

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

### ***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

#### ***Перечень основной литературы:***

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То



же [Электронный ресурс]. - URL:  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316>

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

***Перечень дополнительной литературы:***

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

## ***Лабораторная работа №2***

**Тема:** Ручное/автоматическое управление режимом автономно работающего синхронного генератора.

**Цель работы:** Ознакомиться с управлением режимами автономно работающего синхронного генератора

### ***Формируемые компетенции:***

| Код  | Формулировка                                                                                            |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов.                                 |
| ПК-1 | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем электроснабжения объектов |
|      | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает типовые проектные решения систем электро-снабжения объектов.              |
|      | Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов.                                  |
| ПК-2 | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает параметры электрооборудования системы электроснабжения объекта.       |
|      | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта.                       |

### ***Теоретическая часть:***

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

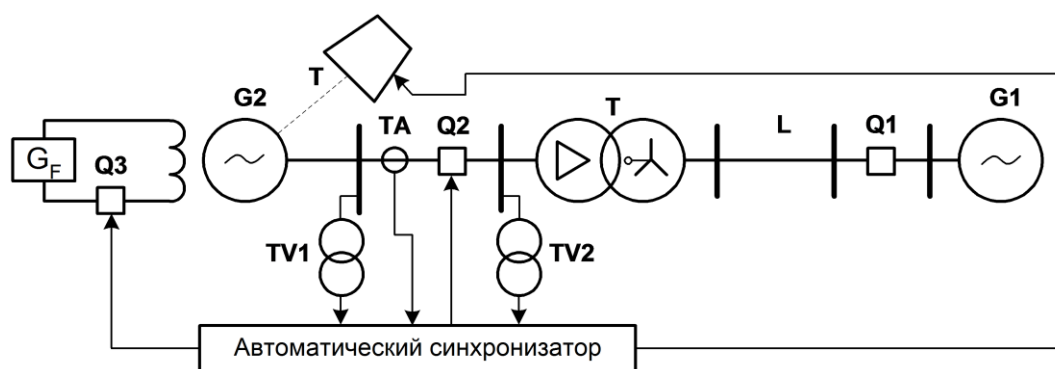


Рисунок 2.1 – Модель одномашинной электрической системы

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

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

***Перечень используемого оборудования:***

| Обозначение | Наименование                       | Тип   | Параметры                                                          |
|-------------|------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------|
| A1          | Трехполюсный выключатель           | 301.1 | 400 В ~; 10 А                                                      |
| A2          | Трехфазная трансформаторная группа | 347.3 | 380 ВА (звезда) / 220, 225, 230 В / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В |
| A3          | Модель линии электропередачи       | 313.2 | 400 В ~; 3 0,5 А                                                   |
| A4          | Трехфазная трансформаторная группа | 347.4 | 380 ВА / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В /                          |

|     |                                                            |       |                                                                                                                         |
|-----|------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                                                            |       | (треугольник)<br>220, 225, 230<br>В                                                                                     |
| A5  | Блок синхронизации                                         | 319   | 400 В ~; 10 А<br>3<br>индикаторные<br>лампы;<br>синхроноскоп                                                            |
| A6  | Блок измерительных<br>трансформаторов<br>тока и напряжения | 401.1 | 600 В / 3 В<br>(тр-р напряж.)<br>0,3 А / 3 В<br>(тр-р тока)                                                             |
| A7  | Терминал                                                   | 304   | 6 розеток с<br>8 контактами;<br>68 гнезд                                                                                |
| A8  | Блок ввода-вывода цифровых<br>сигналов                     | 331   | 8 входов типа<br>«сухой<br>контакт»;<br>8 релейных<br>выходов                                                           |
| A9  | Коннектор                                                  | 330   | 8 аналог. диф.<br>входов;<br>2 аналог.<br>выхода;<br>8 цифр.<br>входов/<br>выходов                                      |
| A10 | Персональный компьютер                                     | 550   | IBM<br>совместимый,<br>Windows 95-<br>XP,<br>монитор,<br>мышь,<br>клавиатура,<br>плата сбора<br>информации<br>PCI 6024E |
| G1  | Трехфазный источник питания                                | 201.4 | 400 В ~; 16 А                                                                                                           |
| G2  | Источник питания двигателя                                 | 206.1 | Цепь якоря                                                                                                              |

|           |                                        |              |                                                                                                                   |
|-----------|----------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | постоянного тока                       |              | 0...250 В ; 3 А<br>Цепь<br>возбуждения<br>200 В ; 1 А                                                             |
| <u>G3</u> | <u>Возбудитель синхронной машины</u>   | <u>209.3</u> | <u>0...40 В ; 3,5</u><br><u>А</u>                                                                                 |
| <u>G4</u> | Машина переменного тока                | 102.1        | <u>100 Вт / ~ 230</u><br><u>В /</u><br><u>1500 мин<sup>1</sup></u>                                                |
| <u>G5</u> | Преобразователь угловых<br>перемещений | 104          | 6 вых. каналов<br>/ 2500<br>импульсов<br>за оборот                                                                |
| <u>M1</u> | Машина постоянного тока                | 101.2        | <u>90 Вт / 220 В /</u><br><u>0,56 А (якорь)</u><br><u>/</u><br><u>2×110 В / 0,25</u><br><u>А</u><br>(возбуждение) |
| <u>P1</u> | <u>Измеритель мощностей</u>            | <u>507.3</u> | <u>15; 60; 150;</u><br><u>300; 600 В /</u><br><u>0,05; 0,1; 0,2;</u><br><u>0,5 А.</u>                             |
| <u>P2</u> | <u>Измеритель напряжений и частот</u>  | <u>504.2</u> | 2 вольтметра<br>0...500 В ~<br>2 частотомера<br>45...55 Гц;<br><u>220 В ~</u>                                     |
| <u>P3</u> | <u>Указатель частоты вращения</u>      | <u>506.3</u> | <u>2000...0...200</u><br><u>0 мин<sup>1</sup></u>                                                                 |

***Указание по технике безопасности:***

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

### ***Указания по выполнению лабораторной работы:***

- Собираем электрическую схему соединений и устанавливаем параметры ее элементов. Выполняем подготовительные операции.
- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.
- Соедините гнезда защитного заземления "■" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
- Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Мощности фаз активной нагрузки А6 установите равными 10 % от 50 Вт.
- Готовим аппаратуру к проведению эксперимента в ручном режиме.
- Переключатели режимов работы трехполюсного выключателя А4, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3 синхронной машины установите в положение «РУЧН.». Тумблеры делителей напряжения коннектора А11 установите в положение «1:1». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора А11 установите в положение «AIGND». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока А10 ввода-вывода цифровых сигналов установите в положение «выход» (тумблер вниз) для контактов DIO0...DIO3, в положение «вход» (тумблер вверх) для контактов DIO4...DIO7.
- Включите выключатели «СЕТЬ» трехполюсного выключателя А4, источника G2 питания двигателя постоянного тока, возбудителя G3

синхронной машины, указателей А1 и А7 частоты вращения, измерителя мощностей А3.

- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А12 и запустите программу «Автоматическое управление - 1».
- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Включите возбудитель G3 синхронной машины, нажав кнопку «ВКЛ.» на его передней панели. Вращая регулировочную рукоятку, установите ток обмотки возбуждения генератора равным 2А.
- Запустите сбор данных в ручном режиме, нажав для этого виртуальную кнопку «Запустить»  или выбрав соответствующий пункт в меню «Действия».
- Регулировочную рукоятку источника G2 поверните против часовой стрелки до упора. Включите источник G2, нажав кнопку «ВКЛ.» на его передней панели.
- Наблюдая изменение параметров схемы по виртуальным приборам программы, вращайте регулировочную рукоятку источника G2 по часовой стрелке. Установите частоту вращения генератора равной примерно 1500 об/мин, после чего включите выключатель А4, нажав соответствующую кнопку на его передней панели. Обратите внимание на изменение параметров режима работы схемы.
- Изменяйте мощности фаз активной нагрузки А6, напряжение источника питания G2 двигателя постоянного тока, ток возбуждения генератора. Наблюдайте изменение режимных параметров схемы.
- Эксперимент в ручном режиме завершен.
- Остановите сбор данных, нажав для этого виртуальную кнопку «Остановить»  или выбрав соответствующий пункт из меню «Действия».
- Регулировочные рукоятки источника питания G2 двигателя постоянного тока и возбудителя G3 установите в положение против часовой

стрелки до упора. Отключите источник G2 и возбудитель G3, нажав на кнопки «ОТКЛ.» на их передней панели. Отключите трехполюсный выключатель A4.

- Готовим аппаратуру к проведению эксперимента в автоматическом режиме.
- Переключатель режима работы источника G2, возбудителя G3 и трехполюсного выключателя A4 установите в положение «АВТ.».
- Включите выключатель «СЕТЬ» блока A10 ввода-вывода цифровых сигналов.
- Выберите автоматический режим работы программы, нажав для этого соответствующую виртуальную кнопку  на экране компьютера.
- Задайте уставки управления (кнопкой ) , используемые программой. Например, оставьте уставки, заданные по умолчанию.
- Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить»  . Нажмите виртуальную кнопку «ПУСК». После завершения разгона и возбуждения генератора включите виртуальный выключатель. Изменяйте частотную характеристику задания (путем «перетаскивания» мышкой белой точки на соответствующем графике), мощности фаз активной нагрузки A6, задание напряжения на шинах генератора (с помощью виртуальной регулировочной рукоятки). Наблюдайте изменение режимных параметров схемы.
- При «аварийной» остановке генератора остановите программу и запустите вновь (кнопкой «Остановить»  и «Запустить»  соответственно).
- По завершении экспериментов отключите источник G1 и выключатели «СЕТЬ» блоков G2, G3, A1, A3, A4, A8. Закройте программу «Автоматическое управление - 1».

**При работе с программой следует пользоваться её возможностями:**

- Для удобства определения значений величин по графику на



экране отображаются текущие координаты указателя мыши.

- Масштабирование осциллограмм производится путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляется обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.

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

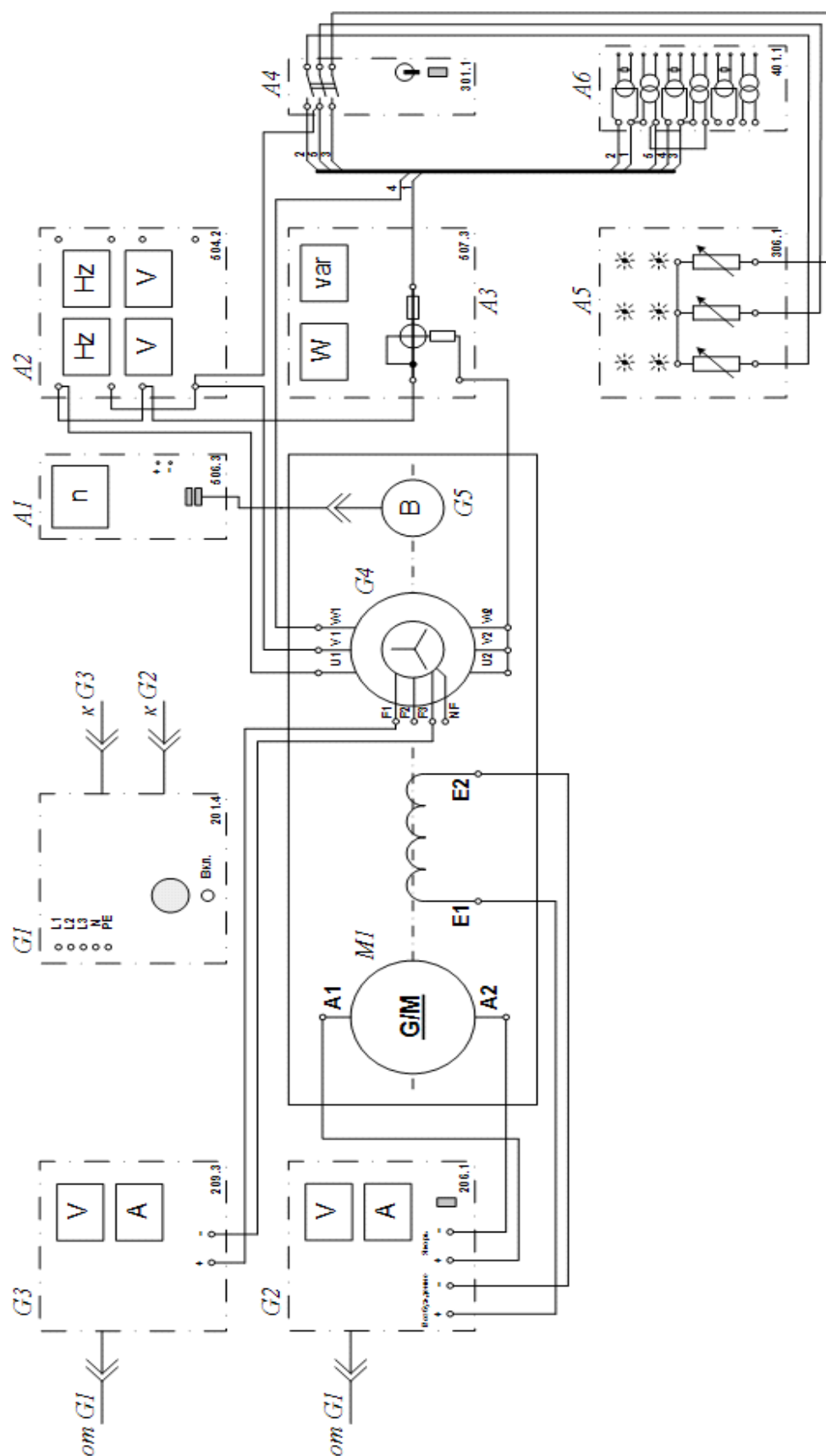


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема управления режимом автономно работающего синхронного генератора.

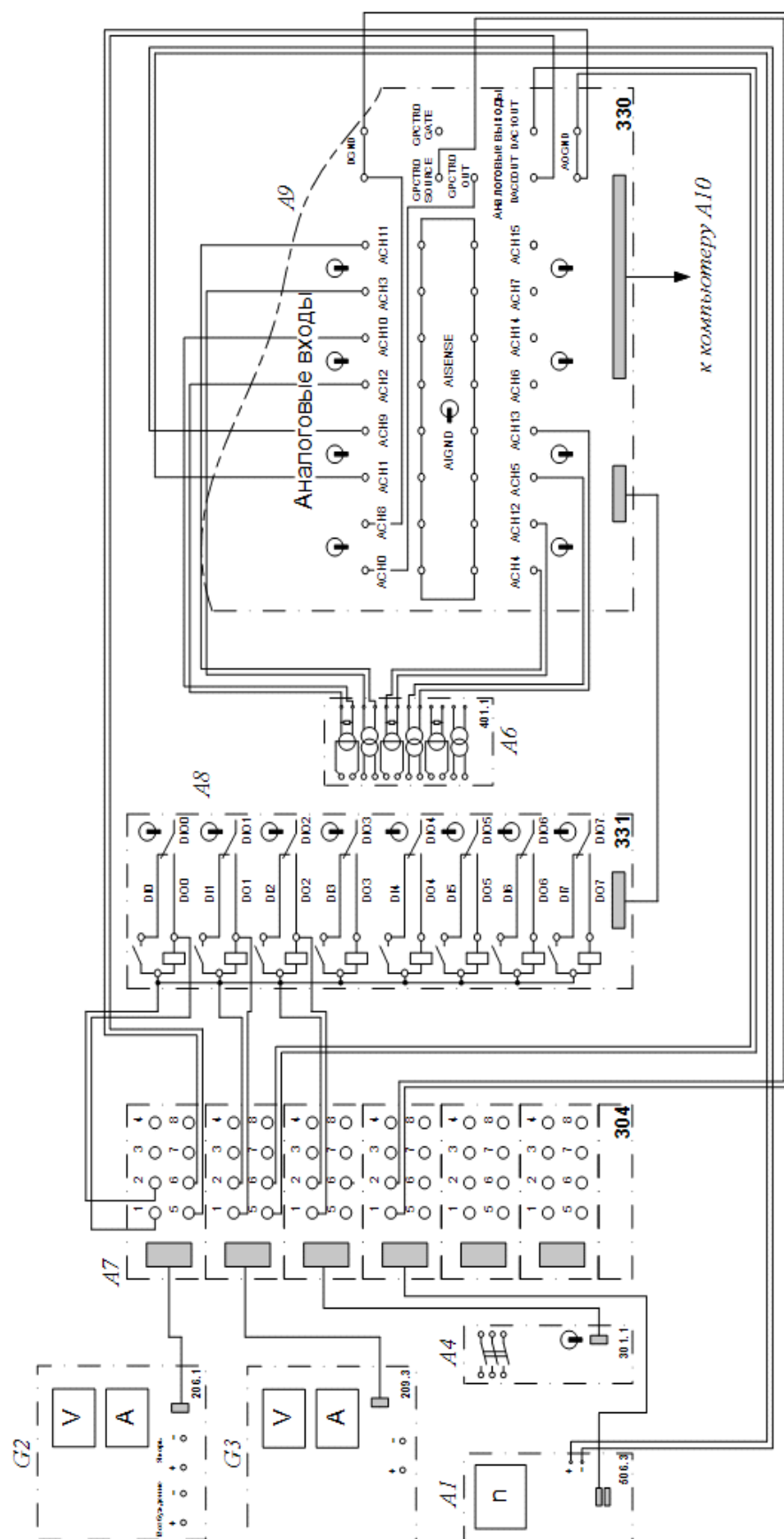


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема модуля ввода-вывода к коннектору

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

### ***Контрольные вопросы:***

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

### ***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

#### ***Перечень основной литературы:***

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

Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 61-63 - ISBN 978-5-7410-1542-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847>

***Перечень дополнительной литературы:***

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

### **Лабораторная работа №3**

**Тема:** Натурное моделирование установившегося режима работы трансформатора.

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

**Формируемые компетенции:**

| Код  | Формулировка                                                                                            |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1 | Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов.                                 |
|      | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем электроснабжения объектов |
|      | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает типовые проектные решения систем электро-снабжения объектов.              |
|      | Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов.                                  |
| ПК-2 | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает параметры электрооборудования системы электроснабжения объекта.       |
|      | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта.                       |

**Теоретическая часть:**

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

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

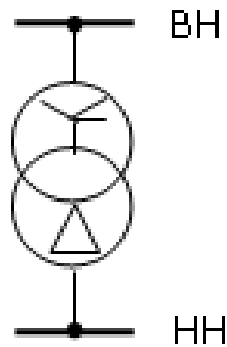


Рисунок 3.1 – Условное обозначение двухобмоточного трансформатора

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

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

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

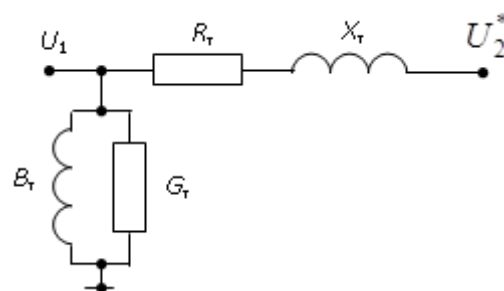


Рисунок 3.2 – Г-образная схема замещения двухобмоточного трансформатора

Активное и реактивное сопротивления трансформатора (продольная ветвь) представляют собой сумму активных и реактивных сопротивлений

обмотки высшего напряжения и приведенной к ней обмотки низшего напряжения:

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

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

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

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

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

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

- потери активной мощности в режиме холостого хода  $\Delta P_x$  в кВт;
- потери активной мощности в режиме короткого замыкания  $\Delta P_k$  в кВт;
- напряжение короткого замыкания  $U_k$ , в %;
- ток холостого хода  $I_x$ , в %.

Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах и автотрансформаторах разделяются на потери в стали и потери в меди



(нагрузочные потери). Потери в стали – это потери в проводимостях трансформаторов. Они зависят от приложенного напряжения. Нагрузочные потери – это потери в сопротивлениях трансформаторов. Они зависят от тока нагрузки.

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

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

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

Потери мощности в обмотках трансформатора можно определить двумя путями:

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

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

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

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

где:  $S$  – мощность нагрузки;

$U$  – линейное напряжение на вторичной стороне трансформатора.

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

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

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

При любой другой нагрузке потери в меди трансформатора равны:

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

Разделив эти выражение, получим:

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

Откуда найдем  $\Delta P_{\text{мд}}$ :

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

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

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

Таким образом, полные потери мощности в двухобмоточном трансформаторе равны:

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

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

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

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

***Перечень используемого оборудования:***

| Обозначение | Наименование                                  | Тип   | Параметры                           |
|-------------|-----------------------------------------------|-------|-------------------------------------|
| G1          | Однофазный источник питания                   | 218.9 | ~ 220 В / 16 А                      |
| G2          | Источник бесперебойного питания               | 1456  | 1000 ВА<br>~ 230 В                  |
| G3          | Однофазный источник питания                   | 218.5 | ~ 220 В / 10 А                      |
| A1          | Однофазный трансформатор                      | 372.1 | 80 ВА<br>220 / 198...242<br>В       |
| A3...A6     | Модель трансформаторной подстанции и нагрузки | 3356  | ~ 220 В / 0...20<br>Вт / 0...20 ВАр |
| A7          | Модель линии электропередачи                  | 313.3 | ~ 220 В / 0,3 А                     |
| A12         | Емкостная нагрузка                            | 317.3 | ~ 220 В /<br>0...30 ВАр             |
| A14         | Удлинитель переносной четырехместный          | -     | ~ 220 В / 16 А                      |
| P1, P2      | Измеритель параметров однофазной сети         | 542   | 0...500 В / 0...5<br>А / 2500 ВА    |

***Указание по технике безопасности:***

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

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

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

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрической соединений, приведенной на рис. 3.3.
- Установите переключателем желаемое значение коэффициента трансформации трансформатора А1, например, равным 1,0.
- Установите переключателями желаемые параметры нагрузок в моделях А3...А6 равными, например, 10 Вт и 0 ВАр.
- Включите источник G1. О наличии напряжения на его выходе должна сигнализировать светящаяся лампочка.
- Включите выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров Р1, Р2 и моделей А3...А6.
- Включите источник бесперебойного питания G2 и дождитесь выхода его на установившийся режим работы (светодиоды на его лицевой панели должны перестать мигать).
- Включите однофазный источник питания G3.
- Кнопкой « < » измерителей Р1 и Р2 выбирайте и фиксируйте отображаемые параметры режима на первичной и вторичной сторонах трансформатора А1 (напряжения, токи, активные, реактивные и полные мощности, коэффициенты мощности, частоту напряжения).
- По завершении эксперимента отключите однофазный источник питания G3, источник бесперебойного питания G2, выключатели «СЕТЬ» измерителей параметров Р1, Р2 и моделей А3...А6, однофазный источник питания G1.

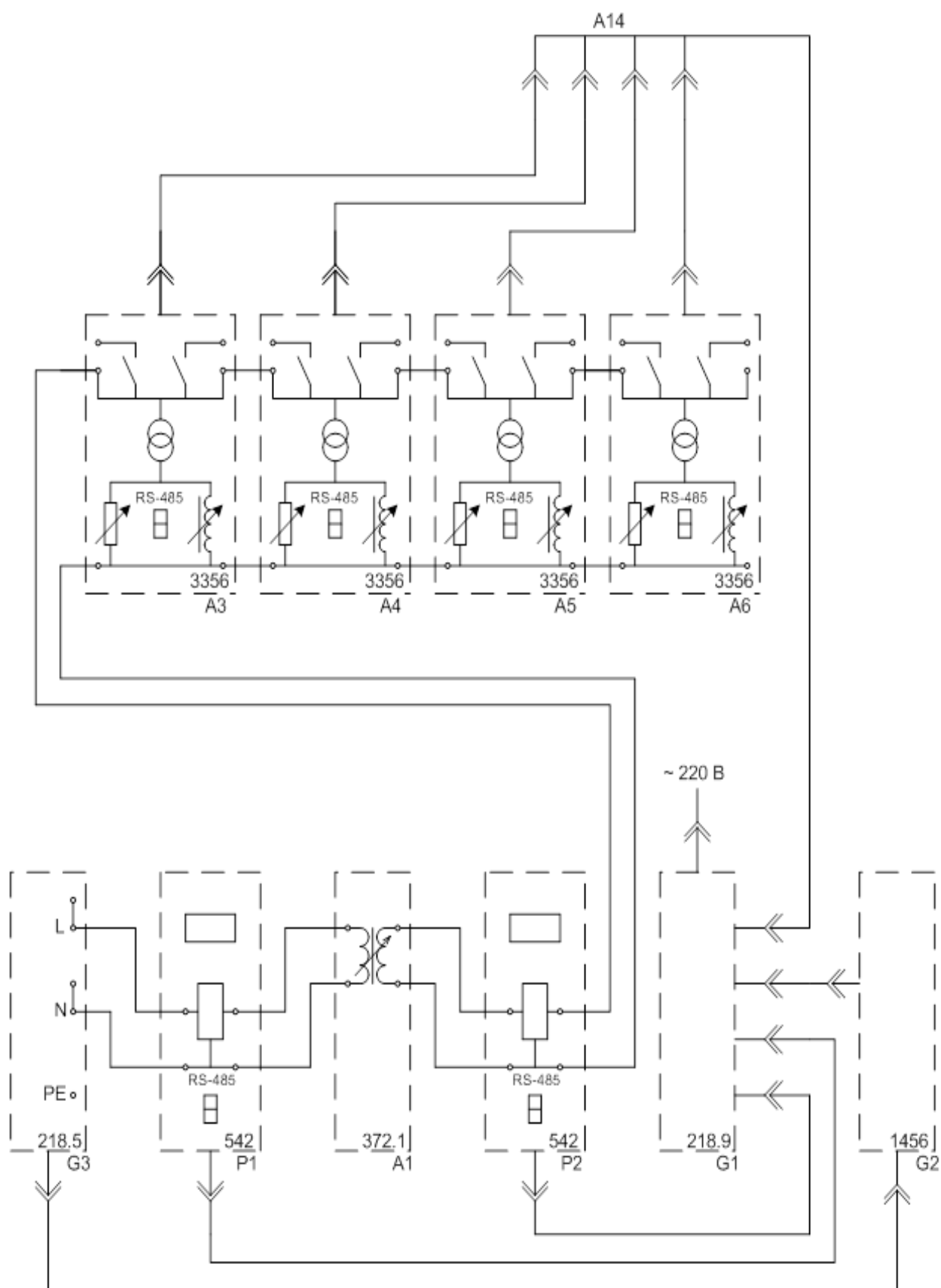


Рисунок 3.3 – Схема для измерения параметров установившегося режима работы однофазного трансформатора

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

### ***Контрольные вопросы:***

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

### ***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

#### ***Перечень основной литературы:***

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То

же [Электронный ресурс]. - URL:  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316>

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

***Перечень дополнительной литературы:***

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

## **Лабораторная работа №4**

**Тема:** Пуск и регулирование реактивной мощности синхронного компенсатора.

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

### **Формируемые компетенции:**

| Код  | Формулировка                                                                                            |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов.                                 |
| ПК-1 | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем электроснабжения объектов |
|      | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает типовые проектные решения систем электро-снабжения объектов.              |
|      | Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов.                                  |
| ПК-2 | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает параметры электрооборудования системы электроснабжения объекта.       |
|      | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта.                       |

### **Теоретическая часть:**

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

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

Для осуществления последнего на роторе в полюсных наконечниках размещают пусковую обмотку. Эта обмотка выполняется по типу



короткозамкнутой обмотки асинхронного двигателя. При пуске трехфазная обмотка статора включается в сеть, ротор компенсатора приходит во вращение и разворачивается до скорости, близкой к синхронной. Вхождение в синхронизм достигается после подачи постоянного тока в обмотку возбуждения.

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

***Перечень используемого оборудования:***

| Обозначение | Наименование                                          | Тип   | Параметры                                                                              |
|-------------|-------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| G1          | Трехфазный источник питания                           | 201.4 | ~ 400 В / 16 А                                                                         |
| G2          | <u>Источник питания двигателя</u><br>постоянного тока | 206.1 | <u>0...250 В /</u><br><u>3 А (якорь) /</u><br>200 В / 1 А<br>(возбуждение)             |
| G3          | Возбудитель синхронной машины                         | 209.2 | 0...40 В / 3,5 А                                                                       |
| G4          | Машина постоянного тока                               | 101.2 | <u>90 Вт / 220 В /</u><br><u>0,56 А (якорь) /</u><br>2×110 В / 0,25 А<br>(возбуждение) |
| G5          | Преобразователь угловых перемещений                   | 104   | 2500 импульсов<br>за оборот                                                            |
| A1          | Трёхфазная трансформаторная группа                    | 347.3 | 380 ВА (звезда)<br>/ 220, 225, 230 В<br>/ 133, 220, 230,<br>235, 240, 245 В            |
| A2          | Активная нагрузка                                     | 306.1 | 220 В / 30...50<br>Вт;                                                                 |
| A3, A4, A5  | Трёхполюсный выключатель                              | 301.1 | ~ 400 В / 10 А                                                                         |
| M1          | Машина переменного тока                               | 102.1 | <u>100 Вт / ~ 230 В</u><br><u>/</u><br>1500 мин                                        |
| P3          | Указатель частоты вращения                            | 506.2 | -2000...0...2000<br>мин <sup>1</sup>                                                   |

***Указание по технике безопасности:***

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

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

- Замыкаем обмотку возбуждения двигателя.
- Включите выключатель А3 кнопкой «ВКЛ».
- Включаем двигатель как асинхронный.
- Включите выключатель А3 кнопкой «ВКЛ». Двигатель М1 должен прийти во вращение.
- Размыкаем обмотку возбуждения и подключаем к ней возбудитель. Действие производим быстро и именно в указанной последовательности, во избежание включения возбудителя G3 на короткое замыкание.
- Отключите выключатель А3 кнопкой «ОТКЛ.» и сразу же включите выключатель А4 кнопкой «ВКЛ.». Двигатель М1 должен втянуться в синхронизм.
- Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1.
- Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

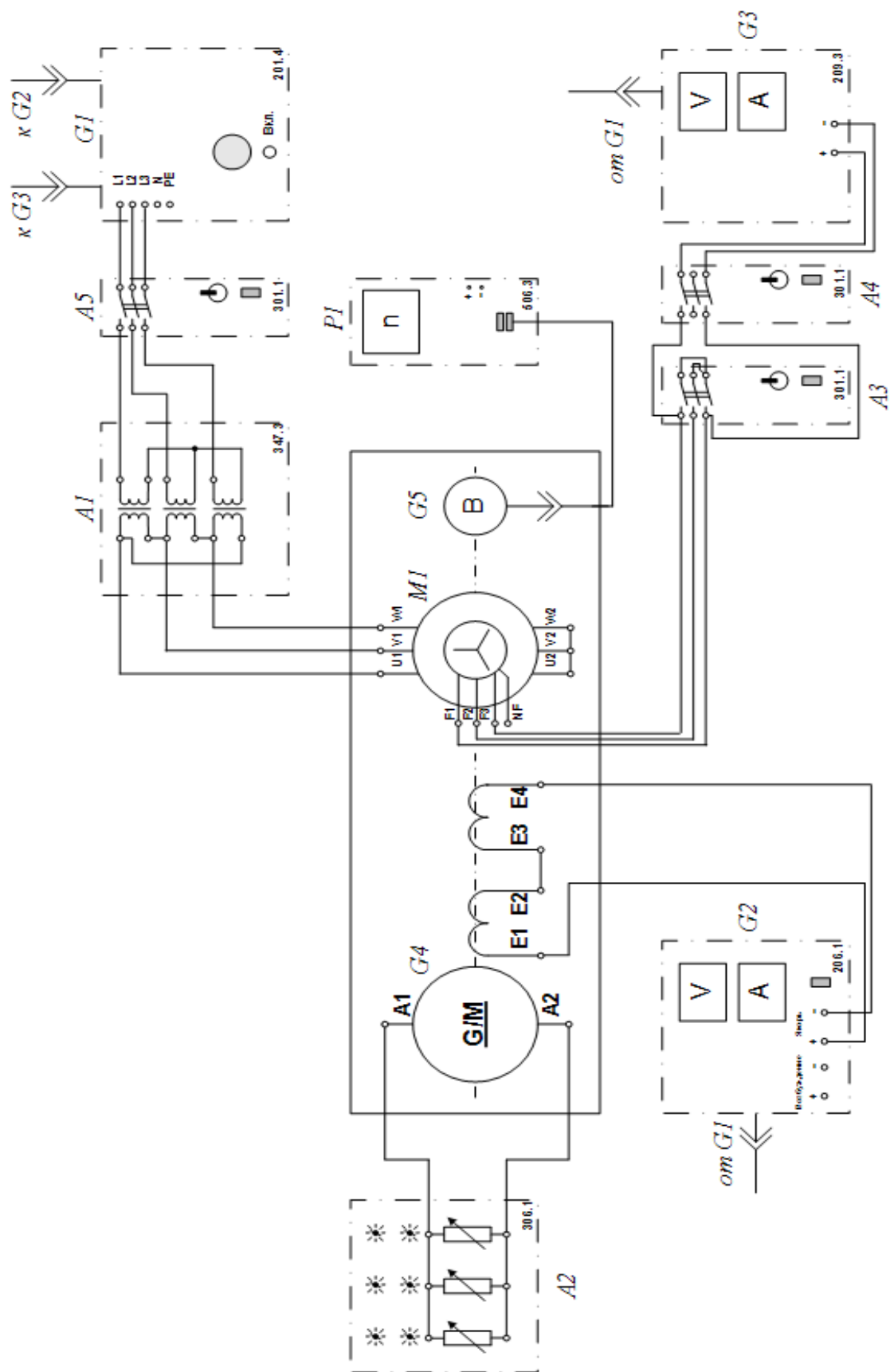


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема пуска синхронного компенсатора реактивной мощности без нагрузки на валу

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

### ***Контрольные вопросы:***

1. Принцип действия синхронной машины и особенности ее конструкции. От чего зависит частота вращения синхронного двигателя?
2. При каких условиях можно использовать асинхронную машину в качестве синхронной?
3. Каково назначение синхронного компенсатора?
4. Какой ток возбуждения называется нормальным?
5. Охарактеризуйте работу синхронного компенсатора в режиме недовозбуждения и в каких случаях такой режим применяется?
6. Охарактеризуйте работу синхронного компенсатора в режиме перевозбуждения и в каких случаях такой режим применяется?
7. Поясните порядок переключений обмотки возбуждения при асинхронном пуске СК.
8. Какой режим (перевозбуждения или недовозбуждения) является расчетным для СК и почему?
9. По каким признакам, находясь на щите управления или в машинном зале, можно узнать, что данный СК находится в асинхронном режиме?
10. Как изменится режим СК после потери возбуждения?

***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

***Перечень основной литературы:***

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

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

***Перечень дополнительной литературы:***

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

## **Лабораторная работа №5**

**Тема:** Прямой/реакторный пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

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

### **Формируемые компетенции:**

| Код  | Формулировка                                                                                            |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1 | Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов.                                 |
|      | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем электроснабжения объектов |
|      | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает типовые проектные решения систем электро-снабжения объектов.              |
| ПК-2 | Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов.                                  |
|      | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает параметры электрооборудования системы электроснабжения объекта.       |
|      | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта.                       |

### **Теоретическая часть:**

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

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

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

***Перечень используемого оборудования:***

| Обозначение | Наименование                                          | Тип   | Параметры                                                                              |
|-------------|-------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| G1          | Трёхфазный источник питания                           | 201.4 | ~ 400 В / 16 А                                                                         |
| G2          | <u>Источник питания двигателя</u><br>постоянного тока | 206.1 | <u>0...250 В /</u><br><u>3 А (якорь) /</u><br>200 В / 1 А<br>(возбуждение)             |
| G4          | Машина постоянного тока                               | 101.2 | <u>90 Вт / 220 В /</u><br><u>0,56 А (якорь) /</u><br>2×110 В / 0,25 А<br>(возбуждение) |
| G5          | Преобразователь угловых<br>перемещений                | 104   | 6 вых. каналов / 2500<br>импульсов за оборот                                           |
| M1          | Машина переменного тока                               | 102.1 | <u>100 Вт / ~ 230 В /</u><br>1500 мин                                                  |
| A2          | Трёхфазная трансформаторная<br>группа                 | 347.3 | 380 ВА (звезда) / 220,<br>225, 230 В / 133, 220,<br>230, 235, 240, 245 В               |
| A4          | Коннектор                                             | 330   | 8 аналог. диф. входов;<br>2 аналог. выходов;<br>8 цифр. входов /<br>выходов            |
| A5          | Персональный компьютер                                | 550   | IBM совместимый,<br>Windows XP,                                                        |

|        |                                                      |       |                                                              |
|--------|------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------|
|        |                                                      |       | плата сбора информации PCI-6024E                             |
| A6, A8 | Трехполюсный выключатель                             | 301.1 | ~ 400 В / 10 А                                               |
| A10    | Активная нагрузка                                    | 306.1 | 220 В / 30...50 Вт;                                          |
| A12    | Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения | 401.1 | <u>600 В / 3 В (тр-р напряж.)</u><br>0,3 А / 3 В (тр-р тока) |
| A14    | Линейный реактор                                     | 314.2 | 3 0,3 Гн / 0,5 А                                             |
| P3     | Указатель частоты вращения                           | 506.3 | -2000...0...2000 мин <sup>1</sup>                            |

***Указание по технике безопасности:***

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

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.
- Соедините гнезда защитного заземления "■" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключатели режима работы источника G2 и выключателей A6, A8 установите в положение «РУЧН.».
- Установите в каждой фазе активной нагрузки A10 ее суммарную величину равную, например, 100 %.
- В трехфазной трансформаторной группе A2 переключателем установите желаемое номинальное вторичное напряжение трансформатора, например, 133 В.



- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А5 и запустите прикладную программу «Многоканальный осциллограф».
- Включите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- Вращением рукоятки на передней панели источника G2 установите напряжение, например, 100 В на его регулируемом выходе «ЯКОРЬ».
- Нажмите на виртуальные кнопки «ВКЛ.» включения сканирования используемых каналов осциллографа.
- Нажмите последовательно кнопки «ВКЛ.» источника G2, выключателя А6 и спустя, например, 2 с выключателя А8. Остановите сбор данных нажатием на виртуальную кнопку «Остановить» . В результате должен осуществиться двухступенчатый пуск нагруженного асинхронного двигателя М1 и должны записаться в компьютер данные о режимных параметрах на интервале пуска.
- Отобразите записанный процесс нажатием на виртуальную кнопку .
- *При желании одноступенчатый пуск осуществляем включением выключателя А6 при заранее включенном выключателе А8.*
- Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1.
- Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.



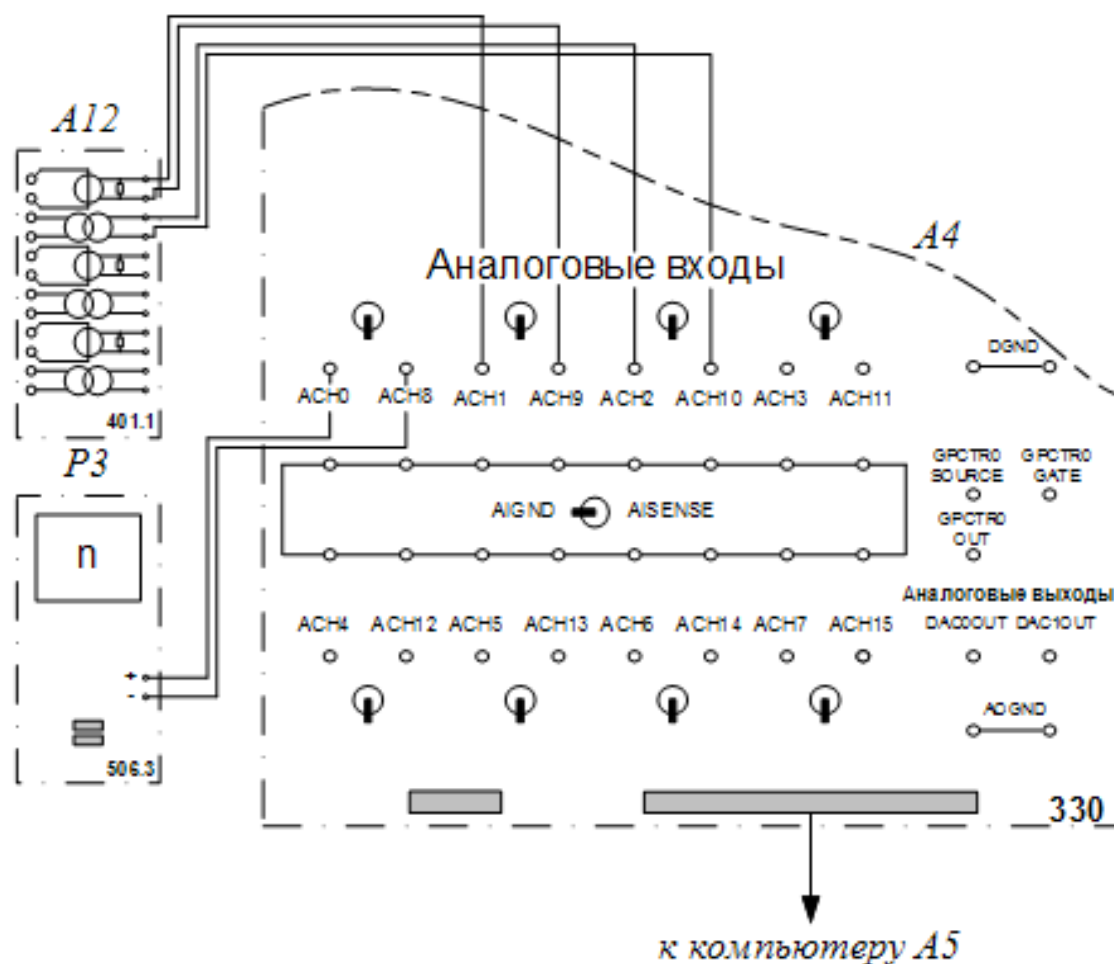


Рисунок 5.2 – Схема подключения измерительных трансформаторов к коннектору

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

### ***Контрольные вопросы:***

1. Объяснить принцип действия асинхронного двигателя.
2. Назвать преимущества и недостатки асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.
3. Какова частота вращения основного магнитного поля асинхронного двигателя и с какой частотой изменяется ток в обмотке его ротора при номинальной нагрузке?
4. Как изменятся линейные токи, если обмотку статора переключить со звезды на треугольник при неизменном напряжении сети?
5. Какие существуют способы регулирования частоты вращения ротора трёхфазных асинхронных двигателей?

### ***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

#### ***Перечень основной литературы:***

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316>
2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции : учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 61-63 - ISBN 978-5-7410-1542-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847>

***Перечень дополнительной литературы:***

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

## **Лабораторная работа №6**

**Тема:** Самозапуск асинхронного электродвигателя.

**Цель работы:** Анализ процесса самозапуска асинхронного электродвигателя.

**Формируемые компетенции:**

| Код  | Формулировка                                                                                            |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов.                                 |
| ПК-1 | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем электроснабжения объектов |
|      | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает типовые проектные решения систем электро-снабжения объектов.              |
|      | Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов.                                  |
| ПК-2 | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает параметры электрооборудования системы электроснабжения объекта.       |
|      | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта.                       |

**Теоретическая часть:**

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

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

- Отключение рабочего ввода (трансформатора, линии) из-за повреждения на шинах (короткое замыкание) или вследствие отказа выключателя.

- Продолжительное снижение напряжения на шинах, что вызывает срабатывание АВР действием ЗМН или АПВ.
- Отключение электрооборудования самопроизвольно или вследствие ошибки персонала.
- Автоматическое отключение блока, из-за повреждения генератора, турбины, блочного трансформатора.

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

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

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

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

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

Неответственные механизмы должны отключаться первой ступенью ЗМН, это облегчает условия самозапуска ответственных. К ответственным

механизмам относятся те, отключение которых приведет к нарушению режима работы основного оборудования электростанции или котельной (котлы, генераторы, турбины).

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

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

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

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



- повышение давления в обратной магистрали сетевой воды теплофикационного блока.

Из всех технологических защит, главную роль играют те, которые действуют на отключение блока с выдержками меньшими, чем время самозапуска механизмов собственных нужд. Необходимо обращать внимание на отдельные технологические системы, глубокое снижение параметров в которых может привести к отключению основного оборудования (система регулирования турбин) или к расстройству основных функций системы (система уплотнений вала ротора с отдельно стоящими насосами уплотнений).

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

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

В процессе самозапуска участвуют ответственные механизмы, отключение которых может привести к нарушению работы основного оборудования ТЭЦ или нарушению технологического процесса на предприятии, что в свою очередь может привести к недоотпуску

электроэнергии, выходу из строя основного и вспомогательного оборудования.

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

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

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

***Перечень используемого оборудования:***

| Обозначение | Наименование                        | Тип          | Параметры                                                                   |
|-------------|-------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| A1          | Трёхфазная трансформаторная группа  | 347.3        | 380 ВА (звезда)<br>/ 220, 225, 230 В<br>/ 133, 220, 230,<br>235, 240, 245 В |
| A2          | Модель линии электропередачи        | <u>313.2</u> | <u>400 В ~; 3 0,5 А</u>                                                     |
| A3          | Индуктивная нагрузка                | 324.2        | 220/380 В; 50Гц;<br>3х40 Вар                                                |
| G1          | Трёхфазный источник питания         | 201.4        | ~ 400 В / 16 А                                                              |
| G2          | Преобразователь угловых перемещений | 104          | 2500 импульсов<br>за оборот                                                 |
| P1          | Указатель частоты вращения          | 506.3        | -2000...0...2000<br>мин <sup>1</sup>                                        |
| P2          | Блок мультиметров                   | 508.2        | Три<br>мультиметра                                                          |

### ***Указание по технике безопасности:***

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

### ***Указания по выполнению лабораторной работы:***

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

- Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

### ***Контрольные вопросы:***

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

### ***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

#### ***Перечень основной литературы:***

1. Филиппова, Т.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем : учебник / Т.А. Филиппова, Ю.М. Сидоркин, А.Г. Русина ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Новосибирский государственный технический университет. - 2-е изд. - Новосибирск : НГТУ,

2016. - 359 с. : схем., ил. - Библиогр.: с. 349-350 - ISBN 978-5-7782-2743-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438316>

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

***Перечень дополнительной литературы:***

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

## *Лабораторная работа №7*

**Тема:** Исследование влияния на статическую устойчивость натурального синхронного генератора вида короткого замыкания в электроэнергетической системе.

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

### **Формируемые компетенции:**

| Код  | Формулировка                                                                                            |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1 | Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов.                                 |
|      | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем электроснабжения объектов |
|      | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает типовые проектные решения систем электро-снабжения объектов.              |
| ПК-2 | Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов.                                  |
|      | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает параметры электрооборудования системы электроснабжения объекта.       |
|      | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта.                       |

### **Теоретическая часть:**

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

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

Расчет статической и динамической устойчивости выполняется для:

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

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

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

Если при планировании отключений пределы динамической устойчивости достигаются ранее границ статической устойчивости, ОСП с учетом аварийных ситуаций из перечня аварийных ситуаций должен провести анализ динамической устойчивости на этапе оперативного планирования на день вперед, пока эти режимы существуют. ОСП должен

подготовить корректирующие действия, которые будут использоваться в случае необходимости во время работы в реальном времени.

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

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

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

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

Моделирование переходных процессов должно учитывать все соответствующие воздействия во временных рамках, представляющих интерес, обычно несколько секунд после возникновения аварии, является объектом анализа переходных режимов. Также необходимо точно



воспроизвести реакцию системы учитывая частоту зафиксированных колебаний. Обычно, колебания в энергосистеме возникают в диапазоне от 0,2 до 2 Гц. Также очень важным является моделирование способности (или неспособности) станции контролировать напряжение в этих временных рамках.

Запас статической устойчивости для установившегося режима работы энергосистем определяется его близостью к границе области устойчивости. Этот запас характеризуется коэффициентами запаса. По условиям статической устойчивости энергосистем нормируют минимальные коэффициенты запаса по активной мощности в сечениях и минимальные коэффициенты запаса по напряжению в узлах нагрузки. Кроме того, устанавливают группы нормативных возмущений, при которых должны обеспечиваться как динамическая устойчивость, так и нормативные запасы статической устойчивости в послеаварийных режимах.

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

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

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

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

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

***Перечень используемого оборудования:***

Лабораторный стенд «Интеллектуальные электрические сети» ИЭС2 - СК

***Указание по технике безопасности:***

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

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

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

каналы тока A1, A2, A3 включены последовательно в фазы А, В и С между модулем синхронизации и силовым трансформатором Т2. Измерительные каналы по напряжению A4, A5, A6 подключены к клеммам A1, B1, C1 модуля силового трансформатора, измерение напряжений осуществляется относительно общей точки обмоток силового трансформатора Т2. На противоположной лабораторной стойке, собрать схему в соответствии с рис.4. Продольную составляющую на модулях линий электропередач установить минимальной (переключатель SA1 в положение 1). Для обеспечения достаточной величины тока однофазного короткого замыкания, нейтраль трансформаторов со стороны ЛЭП и нейтраль самой ЛЭП должны быть объединены. Поперечные составляющие ЛЭП должны быть включены (переключатели SA2 и SA3 в положении 2).

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

- На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы – Переходные процессы – Синхронизация генератора с сетью». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.

- Подать питание на стенд (включить автомат модуля питания стенда).

- Включить все задействованные модули, имеющие индивидуальный тумблер подачи питания «Сеть».

- Включить выключатель Q4 (кнопка SB1 на лицевой панели модуля).

- На противоположной лабораторной стойке: включить питание стенда, включить выключатели Q4 и Q7.
- Включить генератор на параллельную работу с сетью (выполнить пункты 7...13 согласно методическим указаниям к лабораторной работе №3).
- Установить исходный режим загрузки синхронного генератора, приблизительно равный половине его номинальной мощности (регулируя задание частотного преобразователя).
- Отрегулировать ток возбуждения для перевода генератора в режим выдачи реактивной мощности (управляя током возбуждения синхронного генератора).
- С помощью автоматических выключателей QF1..QF6, расположенных на лицевой панели модуля короткозамыкателя, выбрать трехфазное короткое замыкание. Провести опыт короткого замыкания (перевести переключатель SA1 модуля короткозамыкателя в положение «Вкл» и через несколько секунд перевести его в положение «Откл») одновременно наблюдая за режимом работы СГ.
- В случае потери устойчивости выполнить действия по ресинхронизации генератора с сетью.
- Повторить опыт при следующих видах коротких замыканий: однофазное, двухфазное, двухфазное на землю. При этом ток возбуждения должен оставаться неизменным ( $i_b = \text{const}$ ).
- Повторить опыты при других значениях тока возбуждения (больше и меньше начального).
- Отключить стенд в соответствии с ПОРЯДКОМ ОТКЛЮЧЕНИЯ СТЕНДА.

### **ПОРЯДОК ОТКЛЮЧЕНИЯ СТЕНДА:**

- Разгрузить генератор по активной мощности до нуля. Для этого, плавно уменьшать напряжение задания частотного преобразователя до тех пор, пока активная мощность генератора не станет равной нулю.
- Разгрузить генератор по реактивной мощности до нуля. Для этого, плавно уменьшать напряжение задания модуля возбуждения до тех пор, пока реактивная мощность не станет равной нулю.
- Отключить выключатель модуля синхронизации (кнопка SB2).
- Снизить ток возбуждения генератора (потенциометр RP1 модуля возбуждения) до нуля.
- Снизить частоту вращения приводного двигателя (потенциометр RP1 модуля частотного преобразователя) до минимального значения (которое задано в настройках частотного преобразователя).
- Отключить выключатель Q7.
- Отключить питание всех модулей.
- Отключить питание стенда.
- Остановить работу программы DeltaProfi кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6.
- Обработать полученные результаты, сделать выводы и оформить отчет по лабораторной работе.

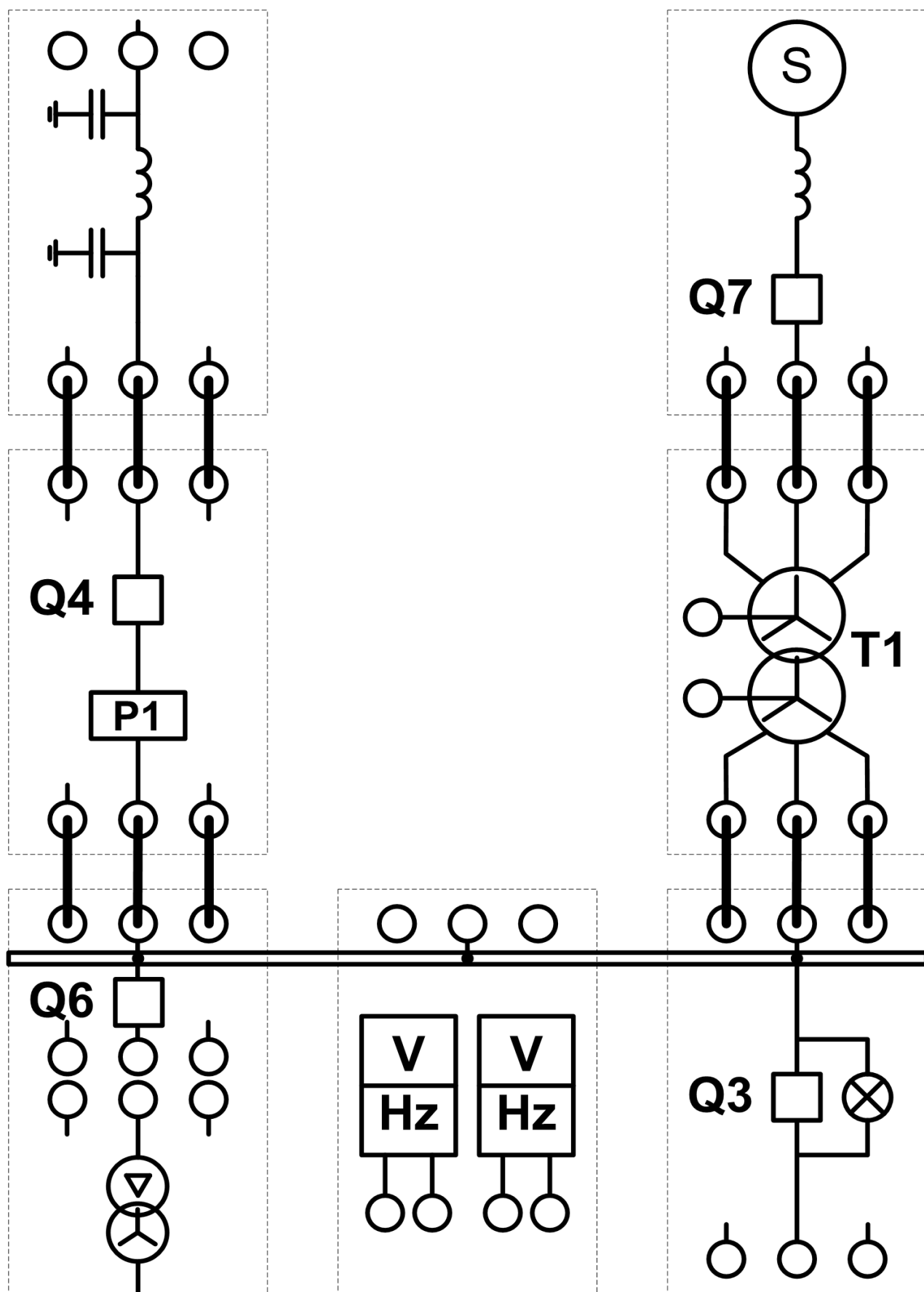


Рисунок 7.1 – Принципиальная схема лабораторной стойки №1



### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

### ***Контрольные вопросы:***

1. По какому практическому критерию определяется статическая устойчивость одномашинной энергосистемы?
2. Почему уменьшается предел статической устойчивости одномашинной энергосистемы при подключении шунтирующего реактора?
3. Почему повышается предел статической устойчивости одномашинной энергосистемы при подключении конденсаторной батареи?
4. Почему в уточненной модели энергосистемы угловые характеристики  $P_1(\delta)$  и  $2 P_2(\delta)$  не совпадают?

### ***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

#### ***Перечень основной литературы:***

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



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

***Перечень дополнительной литературы:***

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

## *Лабораторная работа №8*

**Тема:** Определение соотношения токов короткого замыкания различных видов при замыкании в одной и той же точке сети, питающейся от источника практически бесконечной мощности.

**Цель работы:** Приобретение навыков опытного определения соотношения токов КЗ различных видов.

### **Формируемые компетенции:**

| Код  | Формулировка                                                                                            |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов.                                 |
| ПК-1 | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем электроснабжения объектов |
|      | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает типовые проектные решения систем электро-снабжения объектов.              |
|      | Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов.                                  |
| ПК-2 | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает параметры электрооборудования системы электроснабжения объекта.       |
|      | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта.                       |

### **Теоретическая часть:**

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

В большинстве случаев причиной возникновения КЗ в системе является нарушение изоляции электрического оборудования вследствие износа изоляции, не выявленного своевременно при профилактических испытаниях, или из-за перенапряжений. КЗ могут быть вызваны ошибочными действиями

обслуживающего персонала, механическими повреждениями кабельных линий, схлестыванием, набросом на провода или перекрытием птицами проводов воздушных линий.

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

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

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

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

Короткое замыкание делит цепь на две части:

- правую - с сопротивлениями  $r_1$  и  $x_1 = \omega L_1$  в каждой фазе
- левую - содержащую источник питания и сопротивления цепи КЗ

$r_k$  и  $x_k = \omega L_k$ . Процессы обеих частей схемы при трехфазном КЗ протекают независимо.

Правая часть рассматриваемой цепи оказывается зашунтированной коротким замыканием, и ток в ней будет поддерживаться до тех пор, пока запасенная в индуктивности  $L$  энергия магнитного поля не перейдет в тепло,

выделяющееся в активном сопротивлении  $r_1$ . Величина тока при активно–индуктивном характере сопротивление цепи не превысит тока нормального режима, который постепенно затухая до нуля, не представляет опасности для оборудования.

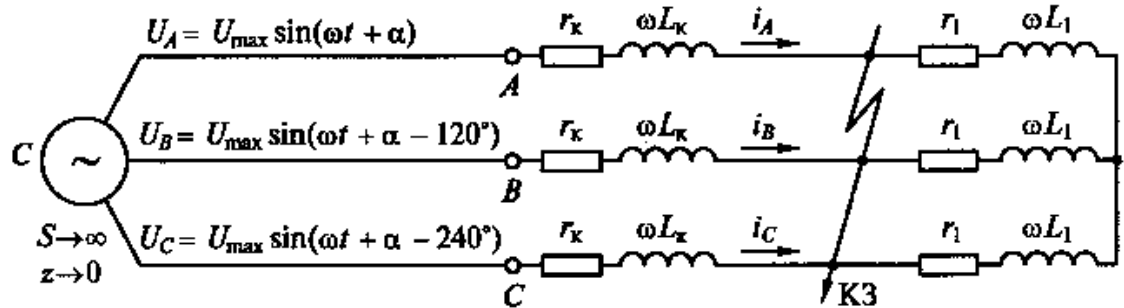


Рисунок 8.1 – Трехфазное КЗ в цепи, питающейся от источника бесконечной мощности

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

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

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

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

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

Вынужденная составляющая тока КЗ имеет периодический характер с частотой, равной частоте напряжения источника. Называют эту составляющую обычно периодическим током КЗ. Амплитуда периодической составляющей тока КЗ обозначается как  $I_{pm}$  и определяется отношением  $U_m/z_k$ :

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

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

Действующее значение тока для произвольного момента времени КЗ равно:

- периодической составляющей:

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

- апериодической составляющей

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

- полного тока КЗ

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

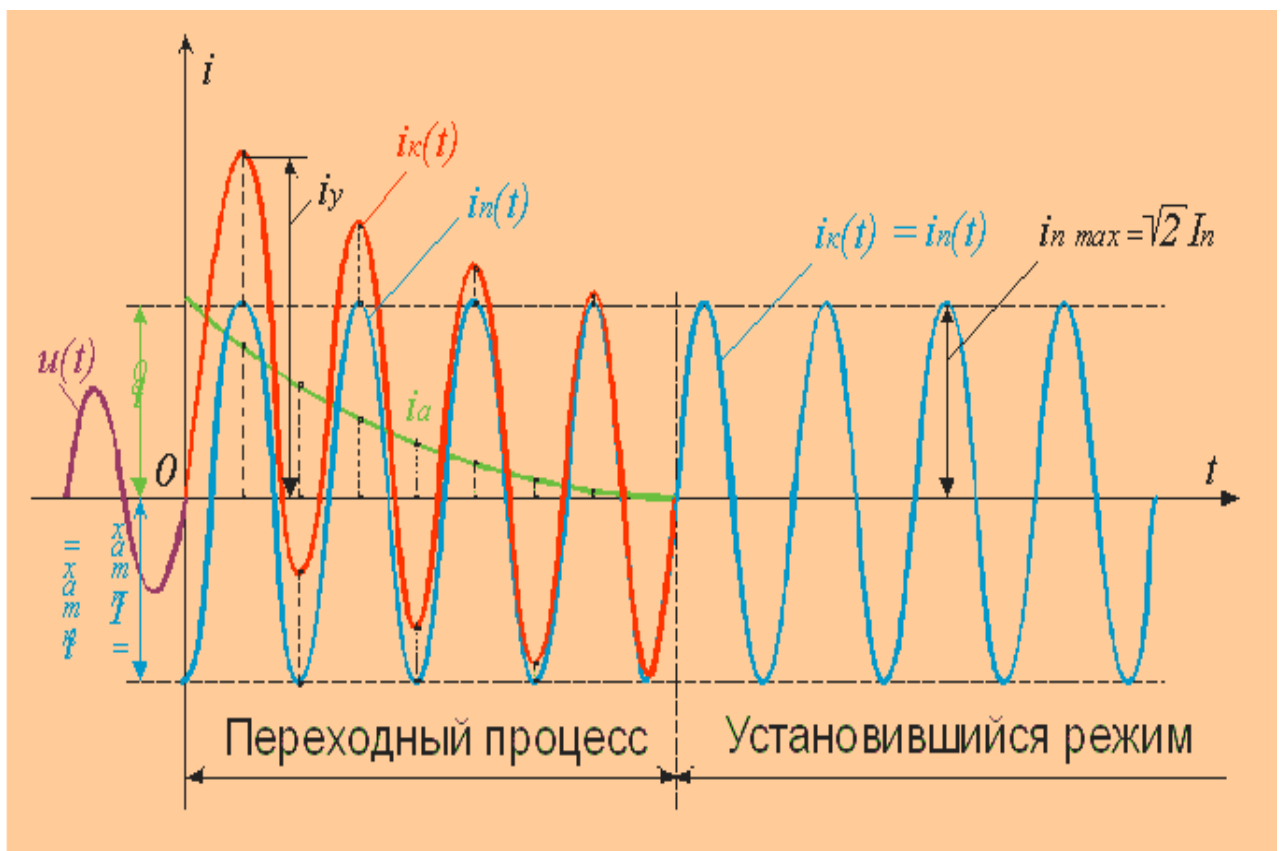


Рисунок 8.2 – Изменение тока трехфазного короткого замыкания и его составляющих для случая возникновения максимального значения апериодической составляющей

***Перечень используемого оборудования:***

| <u>Обозначение</u> | <u>Наименование</u>                                         | <u>Тип</u>   | <u>Параметры</u>                                                                                                                                                      |
|--------------------|-------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>A1</u>          | <u>Трехфазная трансформаторная группа</u>                   | <u>347.3</u> | 3 х 80 ВА;<br>230 (звезда) /<br>242, 235, 230, 126,<br>220, 133, 127 В                                                                                                |
| <u>A2, A3</u>      | <u>Модель линии электропередачи</u>                         | <u>313.2</u> | 400 В~; 3х0,5 А<br>0...1,5 Гн/<br>0...50 Ом<br>0...20,45 мкФ<br>0...250 Ом                                                                                            |
| <u>A4</u>          | <u>Трехполюсный выключатель</u>                             | <u>301.1</u> | 400 В ~; 10 А                                                                                                                                                         |
| <u>A5</u>          | <u>Трехфазная трансформаторная группа</u>                   | <u>347.4</u> | 3 х 80 ВА;<br>242, 235, 230, 126,<br>220, 133, 127 / 230<br>В<br>(треугольник)                                                                                        |
| <u>A6</u>          | <u>Активная нагрузка</u>                                    | <u>306.1</u> | 220/380 В; 50Гц;<br>30...50 Вт                                                                                                                                        |
| <u>A7</u>          | <u>Индуктивная нагрузка</u>                                 | <u>324.2</u> | 220/380 В; 50Гц;<br>3х40 Вар                                                                                                                                          |
| <u>A8</u>          | <u>Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения</u> | <u>401.1</u> | 3 трансформатора<br>напряжения<br>600 / 3 В;<br>3 трансформатора<br>тока 0,3 А / 3 В                                                                                  |
| <u>A9</u>          | <u>Коннектор</u>                                            | <u>330</u>   | <u>8 аналог. диф.</u><br><u>входов;</u><br>2 аналог. выхода;<br>8 цифр. входов/<br><u>выходов</u>                                                                     |
| <u>A10</u>         | <u>Персональный компьютер</u>                               | <u>550</u>   | <u>IBM</u><br><u>совместимый,</u><br><u>Windows XP,</u><br><u>монитор, мышь,</u><br><u>клавиатура,</u><br><u>плата сбора</u><br><u>информации</u><br><u>PCI 6024E</u> |
| <u>G1</u>          | <u>Трехфазный источник питания</u>                          | <u>201.4</u> | <u>400 В ~; 16 А</u>                                                                                                                                                  |

|           |                          |              |                               |
|-----------|--------------------------|--------------|-------------------------------|
| <u>P1</u> | <u>Блок мультиметров</u> | <u>508.2</u> | <u>3 цифровых мультиметра</u> |
|-----------|--------------------------|--------------|-------------------------------|

***Указание по технике безопасности:***

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

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
- Соедините гнезда защитного заземления "■" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.
- Соедините вилки питания 220 В устройств, используемых в эксперименте, сетевыми шнурами с розетками удлинителя.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Смоделируйте интересующий вид короткого замыкания. Для моделирования трехфазного замыкания соедините точки K1, K2, K3 и K4; двухфазного – K1 и K2; двухфазного на землю – K1, K2 и K4; однофазного – K1 и K4.
- Смоделируйте режим работы нейтралей трансформаторов исследуемой сети. Для моделирования глухозаземленной нейтрали соедините точки N1 (N3) и N2. Для случая изолированной нейтрали оставьте эти точки несоединенными.
- Номинальные фазные напряжения трансформаторов A1 и A5 выберите равными 127 В.
- Выберите мощность индуктивной нагрузки A7 – 100 % от 40 Вар во всех фазах, активной A6 – 10% от 50 Вт во всех фазах.



- Переключатель режима работы выключателя А4 установите в положение «РУЧН.».
- Установите следующие параметры моделей линий электропередачи А2 и А3:  $R = 200 \text{ Ом}$ ,  $L/R = 1,2/32 \text{ Гн/Ом}$ ,  $C = 0 \text{ мкФ}$ .
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А10 и запустите программу «Многоканальный осциллограф».
- Включите автоматические выключатели и устройство защитного отключения источника G1.
- Включите ключ-выключатель источника G1.
- Для регистрации токов фаз выберите сканирование каналов АСН0-АСН8, АСН2-АСН10, АСН4-АСН12; для регистрации напряжений выберите каналы АСН1-АСН9, АСН3-АСН11, АСН5-АСН13. Отобразите панель цифровых индикаторов нажатием на виртуальную кнопку <sup>123</sup>. Настройте панель на регистрацию действующих значений сигналов. Выберите подходящие множители (0,1 для токов и 200 – для напряжений).
- Для измерения токов и напряжений схемы также можно использовать блок мультиметров Р1.
- Нажмите кнопки «ВКЛ» включения сканирования первого, второго и третьего каналов виртуального осциллографа.
- Нажмите кнопку «ВКЛ» источника G1. Включите выключатель «СЕТЬ» трехполюсного выключателя А5.
- Смоделируйте короткое замыкание, нажав кнопку «ВКЛ» трехполюсного выключателя А4. По цифровым индикаторам определите значения установившихся токов и напряжений при коротком замыкании.
- Отключите выключатель А4 нажатием на кнопку «ОТКЛ» на его передней панели.
- Для анализа влияния удаленности точки короткого замыкания от генератора можно изменять положение точки КЗ и параметры моделей элементов.

- 
- The diagram illustrates the electrical wiring for the 'Система' (System) unit. It shows the following components and connections:
- PI (Power Input):** Three voltage meters (V) are connected to the power supply.
  - GI (Ground Input):** A ground symbol is shown, connected to the system ground.
  - A1 (Power Supply):** A power supply unit with terminals for L1, L2, L3, N, and PE.
  - A2 (Relay/Control Unit):** A unit with terminals for M1 and M2.
  - A3 (Relay/Control Unit):** A unit with terminals for M1 and M2.
  - A4 (Relay/Control Unit):** A unit with terminals for M1 and M2.
  - A5 (Relay/Control Unit):** A unit with terminals for M1 and M2.
  - A6 (Relay/Control Unit):** A unit with terminals for M1 and M2.
  - A7 (Relay/Control Unit):** A unit with terminals for M1 and M2.
  - A8 (Relay/Control Unit):** A unit with terminals for M1 and M2.
  - A9 (Relay/Control Unit):** A unit with terminals for M1 and M2.
  - Аналоговые входы (Analog Inputs):** A section with terminals for ACH0 through ACH11, ACH13 through ACH15, and ACH17 through ACH19. It also includes a terminal for ACH20 and a terminal for ACH21.
  - Аналоговые выходы (Analog Outputs):** A section with terminals for ACH0 through ACH11, ACH13 through ACH15, and ACH17 through ACH19. It also includes a terminal for ACH20 and a terminal for ACH21.
  - 330:** A terminal block or connection point.

## ТОЧКЕ СЕТИ

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

### ***Контрольные вопросы:***

1. Каковы причины возникновения КЗ в электроустановках?
2. Чем определяется наличие периодической и апериодической составляющих в токе КЗ?
3. Дайте определение ударного тока КЗ.
4. Через какой промежуток времени после появления КЗ, возникает ударный ток?
5. Какой эффект дает применение быстродействующих устройств релейной защиты и отключающих аппаратов?
6. Какие виды КЗ возможны в сетях с эффективно заземленными и незаземленными нейтралями?
7. Каковы преимущества и недостатки сетей с изолированными, компенсированными, эффективно заземленными и глухо заземленными нейтралями?
8. Какое воздействие на электрооборудование вызывает ток КЗ?

***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

***Перечень основной литературы:***

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

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

***Перечень дополнительной литературы:***

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

## **Лабораторная работа №9**

**Тема:** Диспетчерское управление в электроэнергетических системах.

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

### **Формируемые компетенции:**

| Код  | Формулировка                                                                                            |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов.                                 |
| ПК-1 | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем электроснабжения объектов |
|      | ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает типовые проектные решения систем электро-снабжения объектов.              |
|      | Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов.                                  |
| ПК-2 | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает параметры электрооборудования системы электроснабжения объекта.       |
|      | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Рассчитывает режимы работы системы электроснабжения объекта.                       |

### **Теоретическая часть:**

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

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

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

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

Задачи оперативно-диспетчерского управления энергосистемой:

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

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

Организация процесса оперативно-диспетчерского управления (ОДУ) в энергетике осуществляется таким образом, чтобы обеспечить распределение

различных функций по нескольким уровням. При этом каждый уровень подчиняется вышестоящему.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### ***Перечень используемого оборудования:***

Лабораторный стенд «Интеллектуальные электрические сети» ИЭС2 - СК

#### ***Указание по технике безопасности:***

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

#### ***Указания по выполнению лабораторной работы:***

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



- На лабораторной стойке «Модель электростанции №2» собрать схему лабораторных испытаний, соответствующую режиму №2.
- Включить автоматы источников питания моделей электростанций №1 и №2.
- На персональном компьютере централизованного комплекса диспетчерского управления (ЦКДУ) запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Комплекс ДУ – ТСиТИ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.
- На персональном компьютере модели электростанции №1 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №1 – ТСиТИ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.
- На персональном компьютере модели электростанции №2 запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск – Программы – Лабораторный комплекс – DeltaProfi). Загрузить необходимую конфигурацию программы командой «Работы – ИЭС – Электростанция №2 – ТСиТИ». Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление – Пуск» или горячей клавишей F5.
- Исследовать работу электроэнергетической сети в режиме одностороннего питания. Для этого, дистанционно включить выключатели Q6 и Q7 электростанции №1 (щелчком левой кнопки мыши по изображению выключателя на мнемосхеме локального комплекса управления электростанции). Аналогичным образом включить выключатель Q6 на электростанции №2. На централизованном комплексе диспетчерского

управления подать команды на включение выключателей линии электропередачи W1 со стороны электростанции №1 и №2. Записать текущие значения режимных параметров на электростанциях и ЦКДУ.

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

- Исследовать работу электроэнергетической сети в режиме двухстороннего питания. Для этого, перевести тумблер SA1 разрешения работы частотного преобразователя в положение «Вперед». Изменяя положение потенциометра RP1 модуля преобразователя частоты, задать уставку по частоте 50Гц, соответствующую частоте вращения приводного двигателя 1500 об/мин. Подать дистанционную команду на включение генераторного выключателя Q3. Включить тумблер подачи питания «Сеть» модуля возбуждения. Плавно повышая сигнал задания потенциометром RP1, установить номинальный ток возбуждения генератора 0,8А. Увеличивая сигнал задания мощности приводного двигателя потенциометром RP1 перевести генератор в режим выдачи активной мощности 50 Вт. Записать текущие значения режимных параметров.

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

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

- Отключить генератор электростанции №2 от сети дистанционной командой отключения выключателя Q3. Перевести потенциометр RP1 модуля возбуждения в крайнее левое положение. Перевести потенциометр RP1 модуля «Преобразователь частоты» в крайнее левое положение.

Отключить переключатель «Сеть» источника возбуждения синхронного генератора. Переключатель SA1 разрешения работы частотного преобразователя перевести в среднее положение.

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

- Остановить работу программ управления на электростанциях №1 и №2 кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление – Стоп» или горячей клавишей F6. Аналогичным образом, остановить работу программы управления на ЦКДУ. Внимание! При останове работы программ на локальных комплексах управления электростанциями, программное обеспечение на ЦКДУ выдает сообщение, о том, что один из клиентов информационной сети был отключен. Это не является ошибкой.

- Проанализировать полученные данные, сделать выводы о влиянии параметров электроэнергетической сети на режим работы потребителей и статическую устойчивость синхронных генераторов. Оформить отчет по лабораторной работе. В отчете отразить, какие преимущества дает использование системы телеизмерений, теле сигнализации и телеуправления.

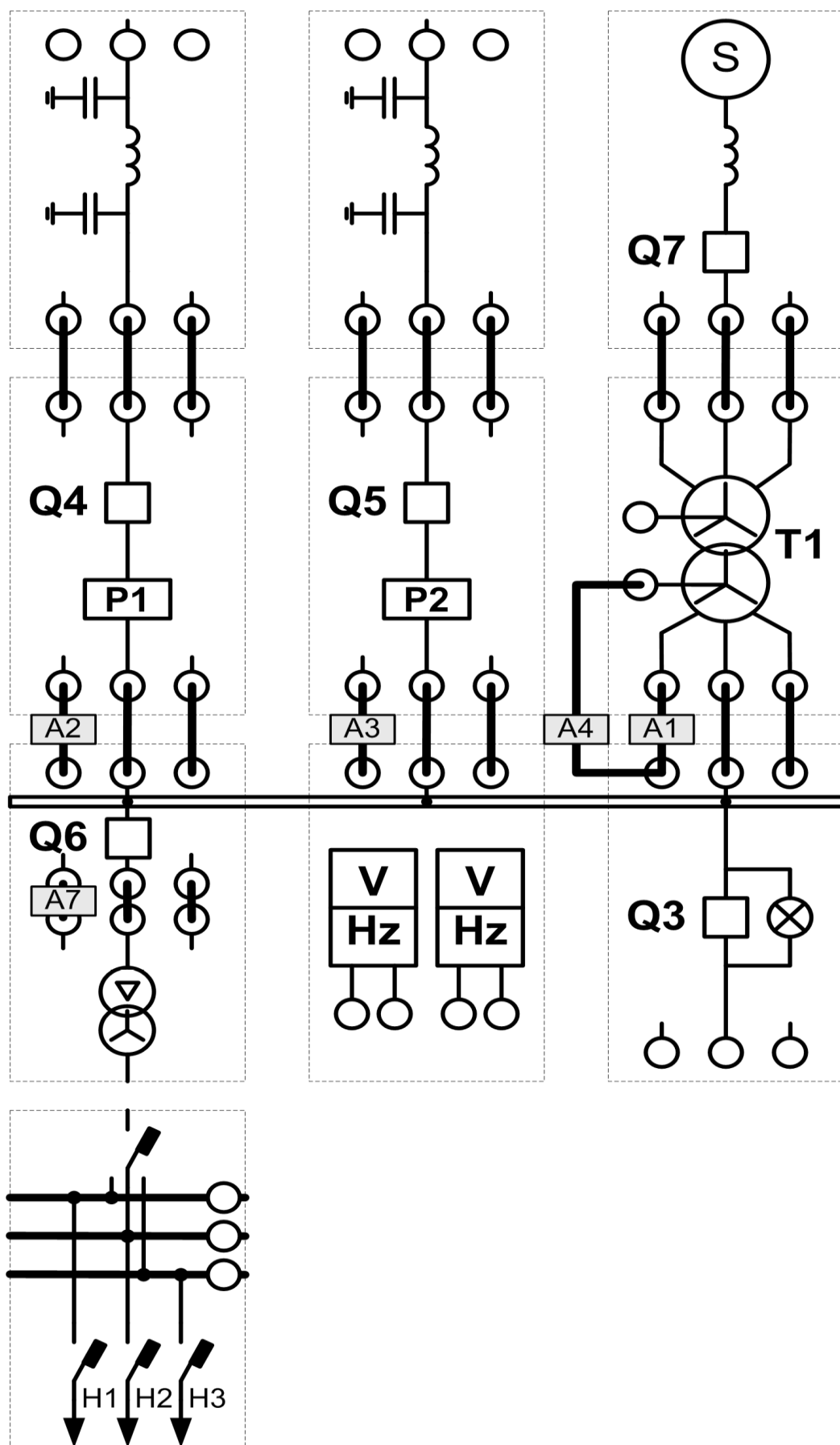


Рисунок 9.1 – Принципиальная схема «Балансирующий узел нагрузки»

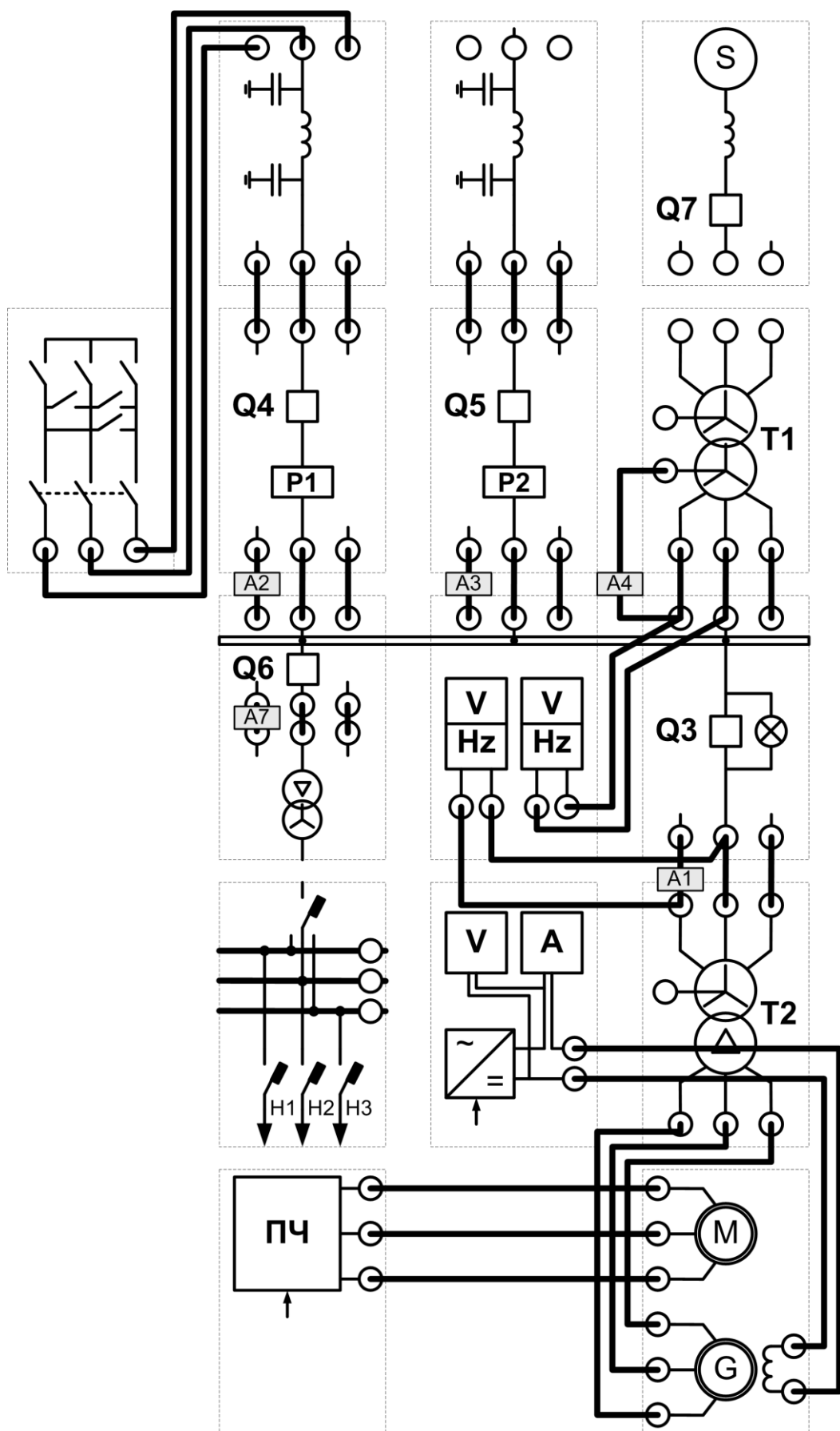


Рисунок 9.2 – Принципиальная схема «Узел с генерацией мощности и нагрузкой»

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

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

### ***Контрольные вопросы:***

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

### ***Список литературы, рекомендованный к использованию по данной теме:***

#### ***Перечень основной литературы:***

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

2. Кулеева, Л.И. Проектирование подстанции : учебное пособие / Л.И. Кулеева, С.В. Митрофанов, Л.А. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский Государственный Университет. - Оренбург : ОГУ, 2016. - 111 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с.

61-63 - ISBN 978-5-7410-1542-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL:  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=468847>

***Перечень дополнительной литературы:***

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

## Приложение А

### *Указание по технике безопасности*

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

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

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

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

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

13. Категорически запрещается:

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

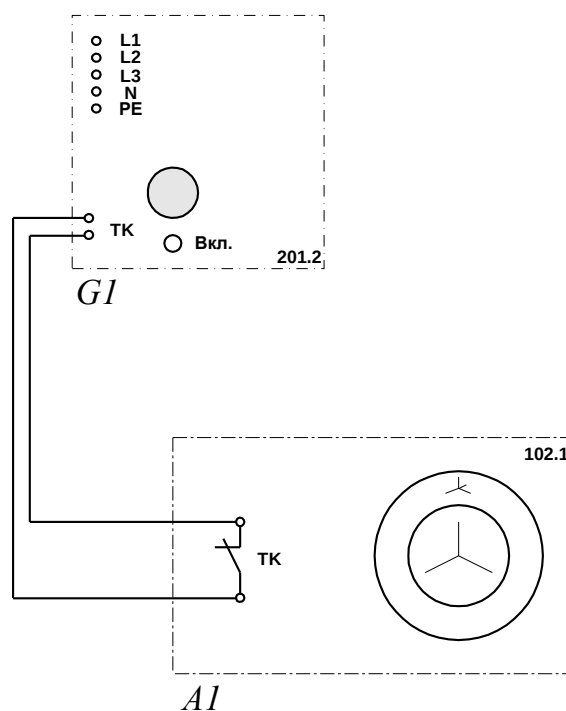
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

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

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

## Приложение Б

### Электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока



#### Перечень аппаратуры:

| Обозначение | Наименование                   | Тип   | Параметры                                   |
|-------------|--------------------------------|-------|---------------------------------------------|
| A1          | Машина переменного тока        | 102.1 | 100 Вт / 230 В ~ /<br>1500 мин <sup>-</sup> |
| G1          | Трехфазный источник<br>питания | 201.2 | 400 В ~ / 16 А                              |