

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Баламирзоев Назим Лидиевич  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 07.07.2025 14:49:02  
Уникальный программный ключ:  
5cf0d6f89e80f49a334f6a4ba58e91f3326b9926

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное Общеобразовательное Учреждение ВПО  
ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Факультет компьютерных технологий,  
вычислительной техники и энергетики**

**Кафедра «ТиОЭ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к выполнению лабораторных работ №№1,2**

**по дисциплине: «Оптимизация в электроэнергетической системе»**

**для студентов направления подготовки магистров  
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
всех форм обучения**

**Часть I**



**Махачкала 2017**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Государственное Общеобразовательное Учреждение ВПО  
**ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Факультет компьютерных технологий,  
вычислительной техники и энергетики

Кафедра «ТиОЭ»

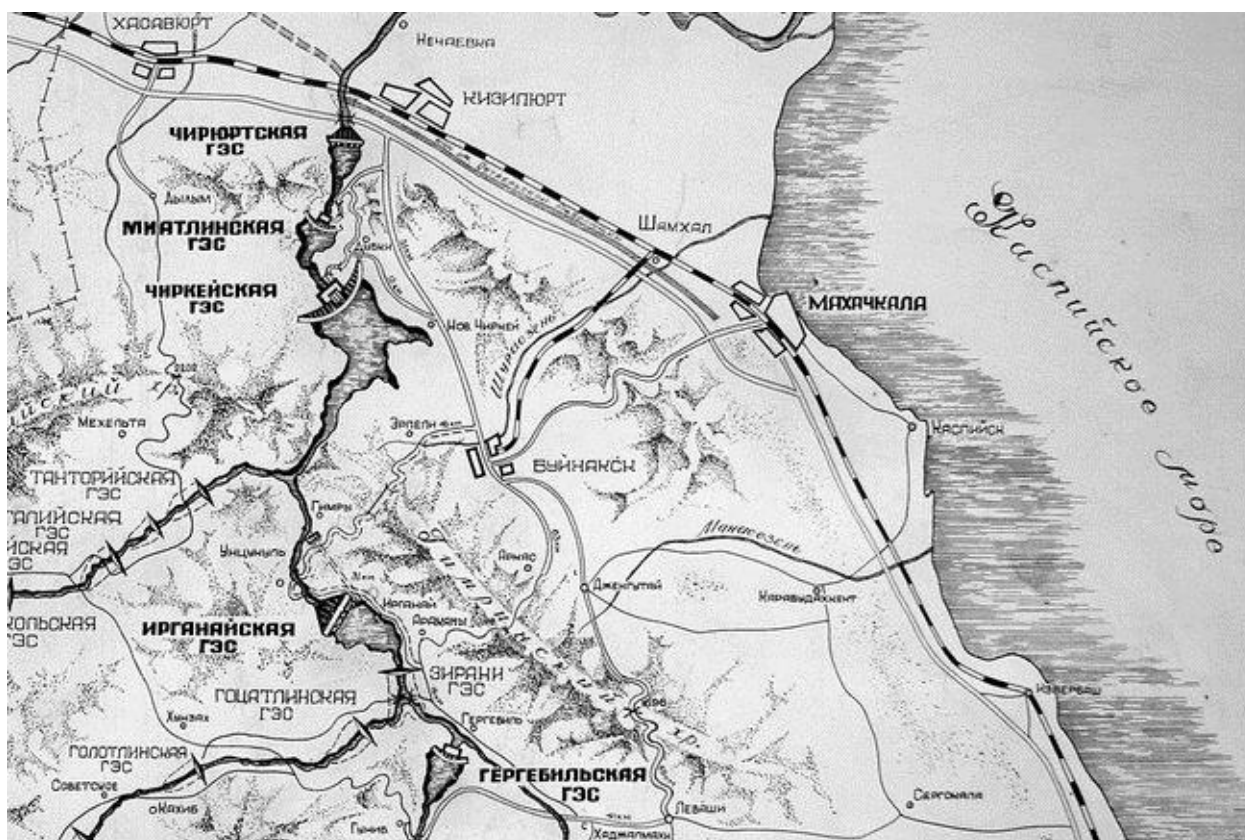
**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ №№1,2

по дисциплине: «Оптимизация в электроэнергетической системе»

для студентов направления подготовки магистров  
13.04.02. «Электроэнергетика и электротехника»

Часть I



Махачкала 2017

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки магистров 130402 «Электроэнергетика и электротехника» для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Оптимизация в электроэнергетической системе» -Махачкала, ДГТУ, 2017. –25с.

Данные методические указания являются учебным руководством к выполнению лабораторных работ. Приведены краткие теоретические сведения, подробно изложены и методические указания к исследованию устройств управления и регулирования режимами систем.

**Составители:** д.т.н., профессор каф. ТиОЭ  
к.т.н., доцент каф. ТиОЭ

Исмаилов Т.А.,  
Шангереева Б.А.

**Рецензенты:** Ведущий инженер Филиала  
ОАО «Русгидро»-«Дагестанский филиал»  
д.т.н., профессор каф. ТиОЭ

Кадиев С.М.  
Саркаров Т.Э.

© кафедра «ТиОЭ» Дагестанского государственного технического университета.  
Печатается согласно постановлению Совета Дагестанского государственного технического университета от \_\_\_\_\_ 2017 г.

**СОДЕРЖАНИЕ**

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....                                                                                                                                                                      | 5  |
| <b>1. ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ</b> .....                                                                                                                                         | 7  |
| <b>2. ОФОРМЛЕНИЕ И СДАЧА ОТЧЁТА</b> .....                                                                                                                                                     | 8  |
| <b>3. ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОТЧЁТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ</b> .....                                                                                                                                  | 9  |
| <b>4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ</b> .....                                                                                                                                                                | 10 |
| 4.1. Автоматическое управление режимом электрической системы .....                                                                                                                            | 10 |
| 4.2. Режимы энергетической системы .....                                                                                                                                                      | 10 |
| <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 «Автоматическое управление режимом<br/>одномашинной автономной электрической системы»</b> .....                                                                     | 11 |
| 5.1. Теоретические сведения .....                                                                                                                                                             | 11 |
| 5.2. Перечень аппаратуры .....                                                                                                                                                                | 14 |
| 5.3. Указания по проведению эксперимента .....                                                                                                                                                | 15 |
| 5.4. Контрольные вопросы .....                                                                                                                                                                | 16 |
| <b>6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 «Автоматическое управление режимом<br/>одномашинной электрической системы, работающей параллельно с электриче-<br/>ской системой бесконечной мощности»</b> ..... | 17 |
| 6.1. Теоретические сведения .....                                                                                                                                                             | 19 |
| 6.2. Перечень аппаратуры .....                                                                                                                                                                | 20 |
| 6.3. Указания по проведению эксперимента .....                                                                                                                                                | 21 |
| 6.4. Контрольные вопросы .....                                                                                                                                                                | 23 |
| <b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....                                                                                                                                                                       | 24 |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Значительную часть исследований в электроэнергетике составляют так называемые оптимизационные задачи, когда из всех возможных вариантов решения нужно найти оптимальный -наиболее предпочтительный по некоторым заданным показателям -критериям оптимальности.

Оптимизация – задача выявления оптимального процесса из числа прочих, сопоставляемых по критерию оптимальности.

В оптимизации можно выделить:

- определение оптимальной стратегии развития энергосистем - сооружение или реконструкция систем электроэнергетики и отдельных объектов (выбор месторасположения и мощности, установление сроков ввода в эксплуатацию новых электростанций, подстанций и ЛЭП;

- выбор наилучшей конфигурации электрических сетей;
- распределение нагрузок между отдельными электростанциями работающей или проектируемой системы;
- выбор стратегии наилучшего использования материальных ресурсов (видов топлива и т. д.);

Уравнения установившегося режима  $W(X, Y) = 0$  связывают между собой параметры установившегося режима электроэнергетической системы. Обозначим совокупность этих параметров вектор - столбцом  $Z=(Z_1, Z_2, ..., Z_m)$ . При расчете установившегося режима параметры режима  $Z$  делятся на заданные независимые  $Y$  и неизвестные зависимые  $X$  переменные. Число уравнений установившегося режима в системе  $W(X, Y) = 0$  равно числу зависимых параметров режима  $X$ . Число  $t$  параметров режима  $Z$ , входящих в уравнение  $W(X, Y) = 0$ , больше  $2n$ — числа этих уравнений. Такие системы уравнений называются неопределёнными. Избыток числа переменных по сравнению с числом уравнений физически означает, что электроэнергетическая система имеет  $t-2n$  степеней свободы. Наличие степени свободы позволяет регулировать режим. Например, пусть имеется система из двух станций и одного нагрузочного узла (см. рис.1).

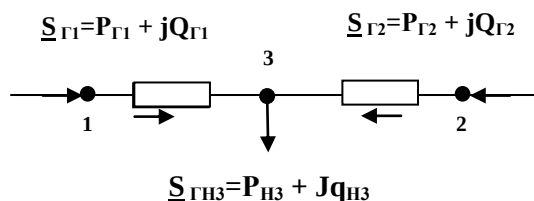


Рис.1.

Предположим, что уравнения установившегося режима имеют вид баланса мощностей для нагрузочного узла, т. е.  $P_{Г1} + P_{Г2} + P_{Н3} = 0$ ;  $Q_{Г1} + Q_{Г2} + Q_{Н3} = 0$ .

Нагрузки  $P_{Н3}$ ,  $Q_{Н3}$  заданы. Два уравнения баланса  $P$  и  $Q$  содержат четыре переменные. Эти уравнения можно удовлетворить при различных сочетаниях  $P_{Г1}$  и  $P_{Г2}$ ,  $Q_{Г1}$  и  $Q_{Г2}$ . Две из этих мощностей можно задавать произвольно в пределах между минимально и максимально возможными их значениями. Остальные мощности будут определены из условий баланса. В данном случае система имеет две степени свободы.

Степени свободы определяются возможностью регулирования  $P$  и  $Q$  станций, наличием регулируемых трансформаторов, возможностью включения и отключения оборудования и т. д. Именно наличие степеней свободы и определяет существование множества возможных режимов, удовлетворяющих заданной нагрузке потребителей. Среди режимов этого множества практический интерес представляют лишь допустимые режимы, при которых парамет-

ры режима остаются в допустимых пределах. Цель управления - среди допустимых режимов найти наиболее экономичный.

При оптимизации за счет наличия степеней свободы параметров режима, т. е. в результате возможности их изменения, выбираются такие значения параметров режима, которые обеспечивают меньшие суммарные потери активной мощности в сети или меньший суммарный расход условного топлива.

Допустимый режим должен удовлетворять условиям надежности электроснабжения и качества электроэнергии. При расчетах допустимых режимов условия надежности электроснабжения и качества электроэнергии учитываются в виде ограничений-равенств и неравенств на контролируемые параметры режима.

Оптимальный режим - это такой из допустимых, при котором обеспечивается минимум суммарного расхода условного топлива при заданной в каждый момент времени нагрузке потребителей.

Наиболее часто решаются оптимизационные задачи трех видов:

- Оптимизация режима энергосистем по  $P$  тепловых электростанций, или распределение активных мощностей между тепловыми станциями, позволяет найти активные мощности станций, соответствующие минимуму суммарного расхода условного топлива на тепловых электрических станциях с приближенным учетом потерь в сети при заданных нагрузках потребителей.

- Оптимизация режима электрической сети приводит к уменьшению потерь активной мощности в результате оптимального выбора напряжений узлов, реактивной мощности источников и коэффициентов трансформации регулируемых трансформаторов и автотрансформаторов при учете технических ограничений.

- Комплексная оптимизация режима позволяет находить оптимальные значения как активных мощностей станций, так и генерируемых реактивных мощностей, а также модулей и фаз напряжений в узлах сети при учете технических ограничений.

В настоящем методическом указании представлены описания к лабораторным работам по дисциплине «Оптимизация в электроэнергетических системах» для студентов направления подготовки магистров 140400.68 «Электроэнергетика и электротехника» и общие указания по правилам выполнения лабораторных работ, правилам оформления отчетов и порядку их сдачи.

В первой части методических указаний содержатся описания к лабораторным работам №№1,2 посвященным опытным исследованиям «Автоматическое управление режимом одномашинной автономной электрической системы» и «Автоматическое управление режимом одномашинной электрической системы, работающей параллельно с электрической системой бесконечной мощности».

## **1. Правила выполнения лабораторных работ**

Лабораторные работы выполняются бригадами в составе 3-4-х человек. Каждая бригада по указанию преподавателя выполняет последовательно лабораторные работы в объеме учебного плана, описания к которым приведены во втором разделе.

#### **а) Рабочее место в лаборатории**

Для выполнения лабораторных работ каждой бригаде студентов предоставляется одно рабочее место (лабораторный стол), укомплектованный универсальными измерительными приборами и лабораторными макетами. В корпусе каждого макета смонтированы все необходимые детали. На рабочую панель макета выведены только коммутационные элементы (гнезда, переключатели). По окончании работы необходимо выключить все измерительные приборы и сдать рабочее место лаборанту.

#### **б) Подготовка к работе**

Успешно выполнить лабораторную работу можно лишь при условии хорошей подготовки к ней. При домашней подготовке к работе каждому студенту следует:

- ознакомиться с описанием предстоящей работы, знать цель и порядок её выполнения;
- изучить теоретический материал соответствующей части курса в объеме конспекта лекций (или по литературе, которая указана в описании работы) и продумать ответы на контрольные вопросы;
- письменно выполнить задание, указанное в разделе «Подготовка к работе»;
- начертить схемы проведения эксперимента и таблицы для записи данных;
- продумать методику и ход предстоящего эксперимента в лаборатории;
- начертить таблицу для записи данных, заготовить миллиметровку для осциллограмм и графиков;
- ознакомиться с применяемой в работе измерительной аппаратурой и с лабораторным макетом по описаниям.

#### **в) Выполнение работ в лаборатории**

Перед началом лабораторной работы проводится коллоквиум с целью проверки подготовленности каждого студента к работе. Студент получает несколько вопросов, как по методике проведения данной работы, так и по теории соответствующего раздела. При удовлетворительных ответах на вопросы студент допускается к работе.

Студенты, допущенные к работе, выполняют ее в соответствии с описанием. При этом все члены бригады обязаны принимать активное участие в эксперименте, а не ограничиваться лишь пассивным наблюдением за его ходом.

При снятии экспериментальных данных в целях экономии времени, а также для наглядного представления зависимостей, рекомендуется следующий порядок:

- прежде всего, без каких-либо записей, при соблюдении всех необходимых требований проводится опыт. В процессе опыта уясняется общий характер зависимости. Оценивается ее соответствие с ожидаемой из теоретических предположений, замечаются участки с наиболее выраженной нелинейной зависимостью и нелинейные участки;

- для снятия кривой опыт повторяется. Результаты опыта заносятся в заранее подготовленные таблицы, по ним строятся необходимые графики (снятые точки обозначаются на них точками, кружками или крестиками).
- для уменьшения погрешности в процессе снятия какой-либо зависимости (или семейства однотипных зависимостей) желательно производить отчеты по одной и той же шкале измерительного прибора. В ходе эксперимента необходимо записать все условия, при которых он выполняется;
- расчеты, связанные с обработкой экспериментальных данных, проводятся в лаборатории в процессе выполнения работы. Работа считается законченной после просмотра и утверждения результатов эксперимента преподавателем.

## **2. Оформление и сдача отчета**

После выполнения лабораторной работы каждый член бригады оформляет отдельный экземпляр отчета по работе на стандартных листах писчей бумаги. Титульный лист отчета оформляется по прилагаемому ниже образцу. Отчет должен быть по возможности, без описания хода работы и промежуточных пояснений. При оформлении его необходимо соблюдать следующее:

1. В начале отчета указываются цель и задачи работы.
2. В разделе «Подготовка к работе» приводятся краткие ответы на вопросы домашнего задания, записываются основные формулы, необходимые для обработки экспериментальных данных, а также качественное изображение графиков и диаграмм, исследуемых в лабораторной работе.
3. В разделе «Лабораторное задание» приводятся рабочие блок-схемы измерений и экспериментально полученные данные, которые размещаются в такой же последовательности, как выполняется работа. Результаты эксперимента представляются в виде таблиц и графиков. Все представленные в отчете результаты должны иметь названия с обязательным указанием условий эксперимента.
4. Графики и осциллограммы вычерчиваются на листах миллиметровки. На каждом графике должны строиться только те кривые, которые предусмотрены соответствующим пунктом описания.
5. В конце отчета формулируются выводы о проделанной работе. Характер и размеры работы их не регламентируются. Выводы могут содержать толкование полученных результатов, объяснение причин отклонения результатов эксперимента от теории, оценки погрешностей и т.д.

Сдача отчета производится каждым студентом в отдельности и сопровождается ответами на вопрос преподавателя. Студент, не сдавший отчет по предыдущей работе, к следующей работе не допускается. В этом случае студент остается в лаборатории для оформления отчета и подготовки к его защите. Сдача отчета производится в конце занятия. Только после этого может быть проведен коллоквиум по текущей лабораторной работе и студент получает допуск к ее выполнению. Отработка пропущенной работы производится в дополнительно назначенное время.

## **3. ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ:**

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

**Государственное Общеобразовательное Учреждение ВПО  
ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Факультет компьютерных технологий,  
вычислительной техники и энергетики**

**Кафедра «ТиОЭ»**

**Отчет по лабораторной работе № \_\_\_\_**

«.....»

**(Название работы)**

Выполнил (а):  
Студент(ка) \_\_\_\_\_ факультета  
Курс \_\_\_\_\_  
Группа \_\_\_\_\_  
Ф.И.О. \_\_\_\_\_  
Принял:  
Преподаватель  
ФИО \_\_\_\_\_  
Подпись \_\_\_\_\_

**Махачкала 20\_\_ г.**

**4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

#### 4.1. Автоматическое управление режимом электрической системы

Автоматика электроэнергетических систем имеет ряд специфических особенностей, отличающих ее от так называемой общепромышленной автоматики. Главная из этих особенностей состоит в неавтономности действия устройств системной автоматики. Будучи автономными с точки зрения конструктивного исполнения, все они практически связаны через процесс в энергосистеме и оказывают влияние не только на энергосистему, но и на работу друг друга. Поэтому представляется целесообразным произвести моделирование автоматического управления режимом энергосистемы в целом.

#### 4.2. Режимы энергетической системы

В любой момент времени энергосистема находится в некотором состоянии, которое определяется множеством параметров состояния.

Параметры принимают определенные численные значения, выбираемые из некоторой допустимой совокупности. Различают: 1) параметры состояния системы и 2) параметры режима.

➤ Параметры состояния системы - это параметры конструктивных элементов системы ( $P_{ном}$ . генераторов,  $S_{ном}$ . трансформаторов, СК, сечения и длины ВЛ,  $U_{ном}$ . оборудования). Параметры состояния являются неуправляемыми, если речь идет об эксплуатации, однако они являются управляемыми, когда говорим о развитии энергосистемы.

➤ Параметры режима - это текущие значения, показателей режима энергосистем, зафиксированных в данный момент времени. Параметры режима различают технологические и электрические. Примеры технологических параметров служат уровни воды (напоры) ГЭС, открытия направляющих аппаратов гидротурбин, расход пара и охлаждающей воды на ТЭС.

Электрические параметры -  $U$  (напряжение) в отдельных точках сети, активные и реактивные нагрузки узлов, токи по воздушным линиям (ВЛ), коэффициенты трансформации трансформаторов и т.д.

Переход системы из одного состояния в другое называется процессом. Он происходит под действием сигналов управления или внешних возмущений. Различают процессы нормальные и аварийные.

Режим энергосистемы - совокупность состояний и процессов перехода из одного состояния в другое. Зафиксированное состояние - моментальная фотография непрерывного процесса её работы.

Поведение системы - полный набор фотографий - состояний системы.

Выбираем характерные состояния: режим нормального рабочего дня, max (максимальный), min (минимальный), послеаварийный режим и т.п.

Замена непрерывного функционирования системы набором характерных режимов неизбежна и используется при проектировании энергосистемы и управлении её работой. Такая замена является также приближением. Вопрос заключается в том, сколько нужно характерных режимов, как их отобрать и как замерить необходимые режимные параметры, чтобы описать сложный процесс поведения энергосистемы с ошибкой, не превосходящей некоторой заданной величины.

### 5. Лабораторная работа №1

# Автоматическое управление режимом одномашинной автономной электрической системы

## 5.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В настоящем эксперименте моделируется автономная электрическая система, содержащая генератор  $G1$ , приводимый во вращение первичным двигателем  $T$ , а также электро-механическую и активную нагрузки (см. рис.1).

С помощью специальной компьютерной программы последовательно производятся разгон генератора и его возбуждение, после чего учащийся подключает к нему упомянутые нагрузки. Программа производит автоматическое регулирование частоты вращения синхронного генератора и поддержание напряжения на его шинах.

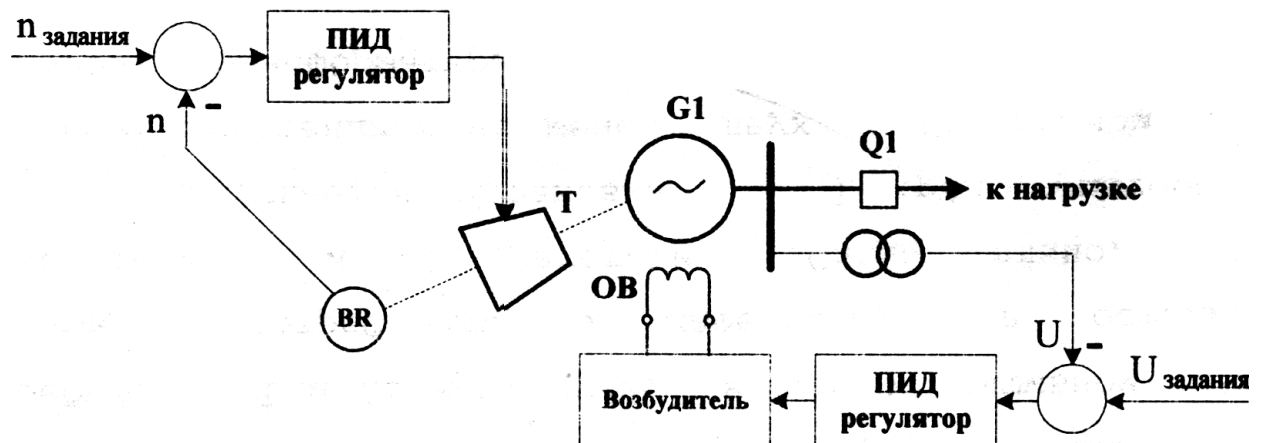


Рис.5.1. Автономная электрическая система

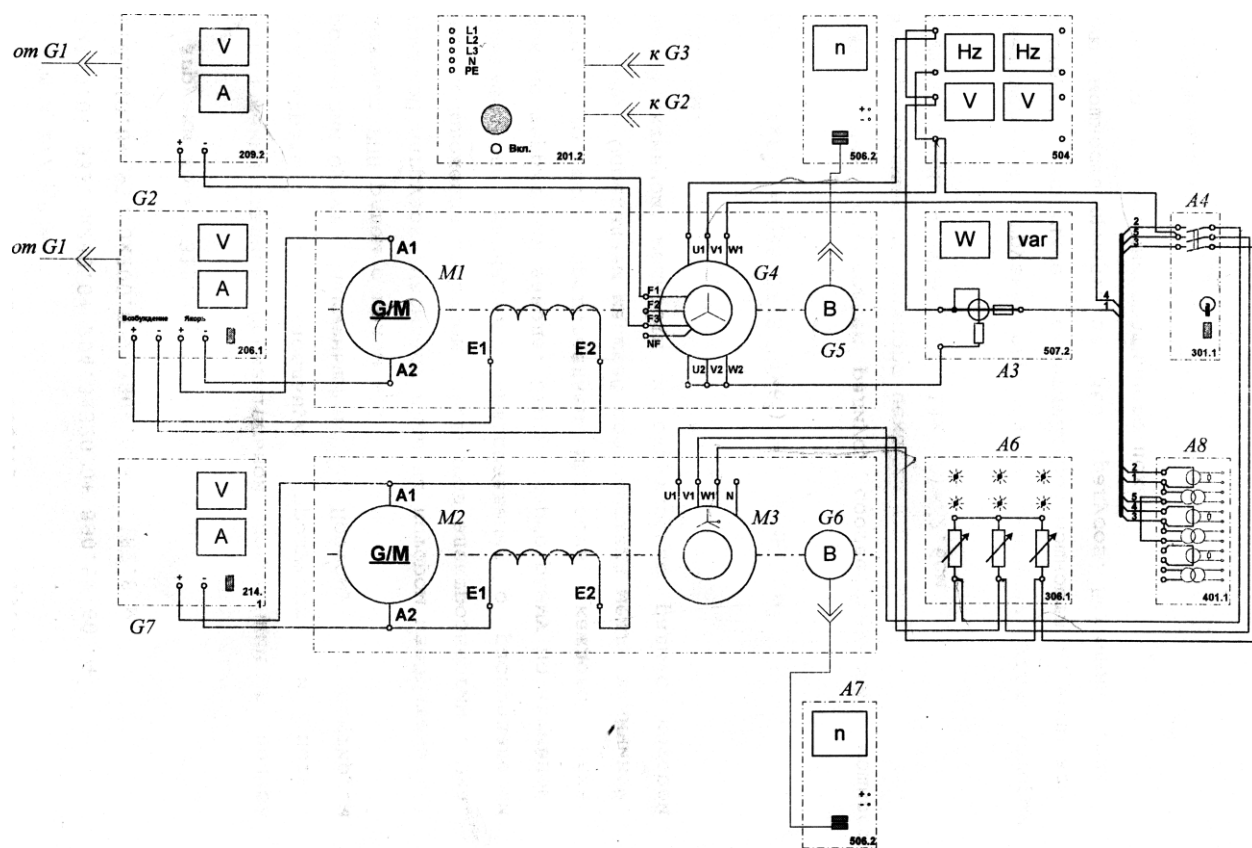


Рис.5.2. Электрическая схема соединений

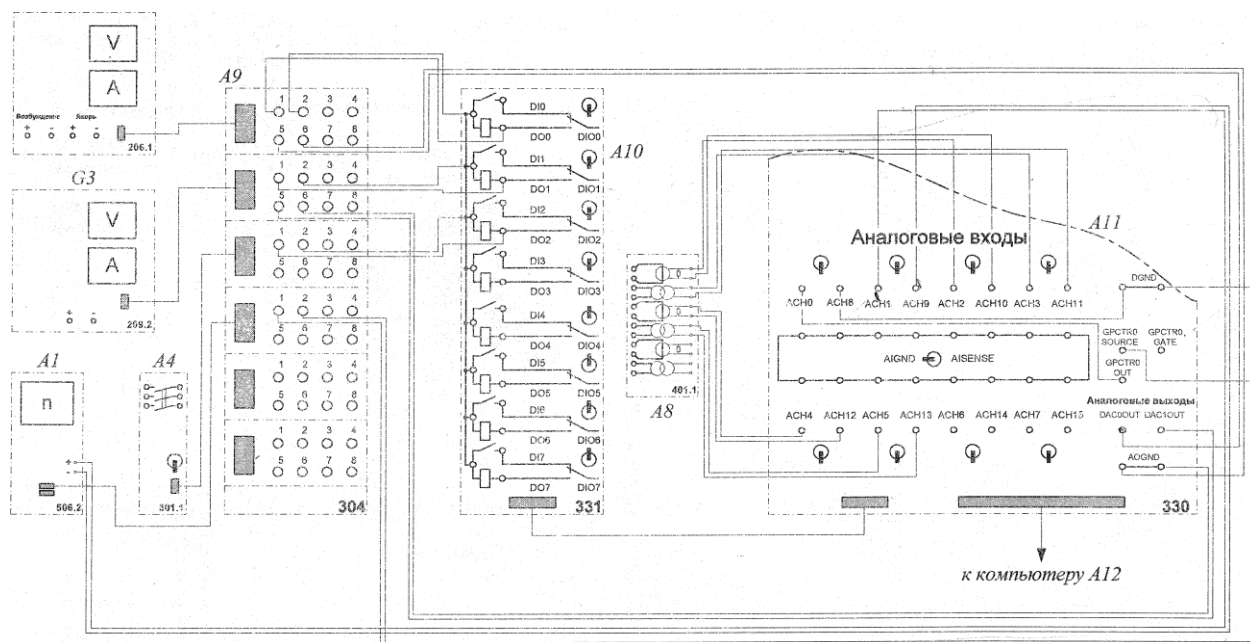


Рис.5.3. Продолжение электрической схемы соединений

## 5. 2. Перечень аппаратуры

| Обозначение | Наименование                                         | Тип   | Параметры                                                             |
|-------------|------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------|
| A1, A7      | Указатель частоты вращения                           | 506.2 | 2000...0...2000 мин <sup>-1</sup>                                     |
| A2          | Измеритель напряжений и частот                       | 504.2 | 2 вольтметра 0...500 В ~<br>2 частотомера 45...55 Гц;<br>220 В ~      |
| A3          | Измеритель мощностей                                 | 507.2 | 15; 60; 150; 300; 600В,<br>0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А                      |
| A4          | Трехполюсный выключатель                             | 301.1 | 400 В ~; 10А                                                          |
| A6          | Активная нагрузка                                    | 306.1 | 220/380 В; 50 Гц;<br>3х0...50 Вт;                                     |
| A8          | Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения | 401.1 | 600В/3В (тр-р напряж.)<br>0,3 А/3 В (тр-р тока)                       |
| A9          | Терминал                                             | 304   | 6 розеток с 8 контактами;<br>6х8 гнезд                                |
| A10         | Блок ввода-вывода цифровых сигналов                  | 331   | 8 входов типа «сухой контакт»;<br>8 релейных выходов                  |
| АН          | Коннектор                                            | 330   | 8 аналог. Диф. входов;<br>2 аналог. выхода;<br>8 цифр. входов/выходов |
| A12         | Персональный компьютер                               | 550   | IBM совместимый,<br>Windows XP,<br>плата сбора информации PCI6024E    |
| G1          | Трехфазный источник питания v                        | 201.2 | 400 В ~; 16 А                                                         |
| G2          | Источник питания двигателя постоянного тока          | 206.1 | Цепь якоря<br>I 0.. 250 В ~; 3 А<br>Цепь возбуждения<br>200 В~; 1 А   |
| G3          | Возбудитель синхронной машины                        | 209.2 | 0...40 В 3,5 А                                                        |
| G4          | Машина переменного тока                              | 102.1 | 100 Вт/~<br>230 В/1500 мин <sup>-1</sup>                              |
| G5, G6      | Преобразователь угловых перемещений                  | 104   | 6 каналов /2500 импульсов за оборот                                   |
| G7          | Источник постоянного напряжения                      | 214.1 | 0...125 В 3 А                                                         |
| M1, M2      | Машина постоянного тока                              | 101.2 | 90 Вт / 220 В ~ / 0,56 А (якорь)<br>/2х110 В/0,25 А (возбуждение)     |
| M3          | Асинхронный двигатель                                | 106   | 120 Вт/380 В                                                          |

### 5.3. Указания по проведению эксперимента

- 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 **A6** установите равными 10 % от 50 Вт.
- Переключатели режимов работы трехполюсного выключателя **A4**, источника **G2** питания двигателя постоянного тока, источника постоянного напряжения **G7**, возбудителя **G3** синхронной машины 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 **DI04...DI07**.
- Включите выключатели «СЕТЬ» трехполюсного выключателя **A4**, источника **G2** питания двигателя постоянного тока, возбудителя **G3** синхронной машины, указателей **A1** и **A7** частоты вращения, источника **G7**, измерителя мощностей **A3**.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер **A12** 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 **2 А**.
- Запустите сбор данных в ручном режиме, нажав для этого виртуальную кнопку «Запустить» ► или выбрав соответствующий пункт в меню «Действия».
- Регулировочные рукоятки источников **G2** и **G7** поверните против часовой стрелки до упора. Включите источники **G2** и **G7**, нажав кнопки «ВКЛ.» на их передних панелях. Наблюдая изменение параметров схемы по виртуальным приборам программы, вращайте регулировочную рукоятку источника **G2** по часовой стрелке. Установите частоту вращения генератора равной примерно 1500 об/мин, после чего включите выключатель **A4**, нажав соответствующую кнопку на его передней панели. Убедитесь в том, что нагрузочный силовой агрегат пришел во вращение. Обратите внимание на изменение параметров режима работы схемы.
- Изменяйте мощности фаз активной нагрузки **A6**, напряжение источника питания **G2** двигателя постоянного тока, ток возбуждения генератора, противодействующий момент на валу нагрузочного агрегата (вращением регулировочной рукоятки источника **G7**). Наблюдайте изменение режимных параметров схемы.
- 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**.
- 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**, противодействующий момент на валу нагрузочного агрегата (вращением регулировочной рукоятки источника **G7**), 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).
- Измените значения уставок управления. Повторите эксперимент.
- 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.
- По завершении экспериментов отключите источник **G1** и выключатели «**СЕТЬ**» блоков **G2, G3, G7, A1, A3, A4, A7, A10**. Закройте программу «**Автоматическое управление - 1**».

#### 5.4. Контрольные вопросы

1. Понятие оптимизации энергосистемы.
2. Что дает регулирование частоты вращения генератора?
3. Параметры энергосистемы.
4. В чем отличие параметров состояния и параметров режима?
5. Как влияет на режимные параметры изменение частотных характеристик, мощностей и напряжений?

## 6. Лабораторная работа №2

### Автоматическое управление режимом одно машинной электрической системы, работающей параллельно с электрической системой бесконечной мощности

#### 6.1. Теоретические сведения

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

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.

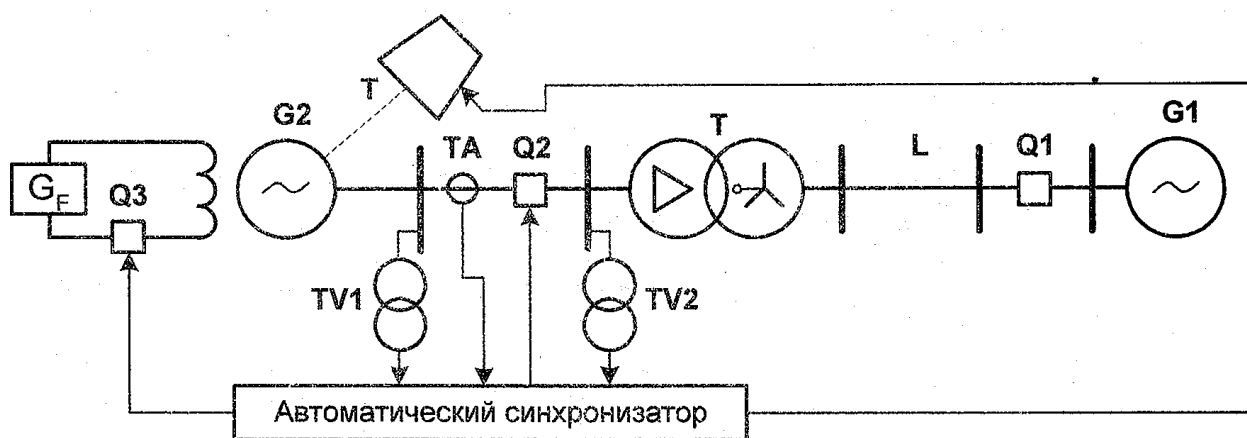


Рис.6.1. Одномашиная электрическая система

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.

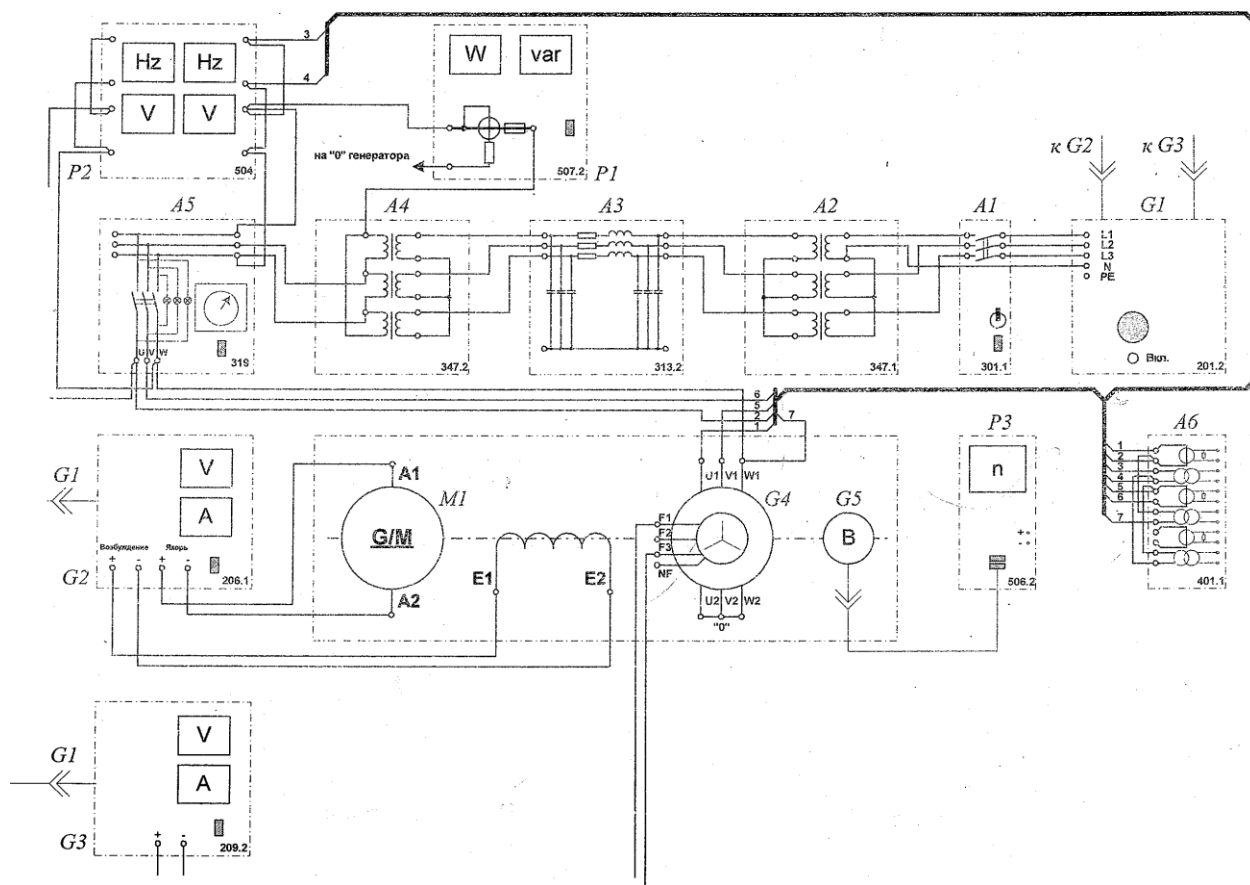


Рис.6.2. Электрическая схема соединений

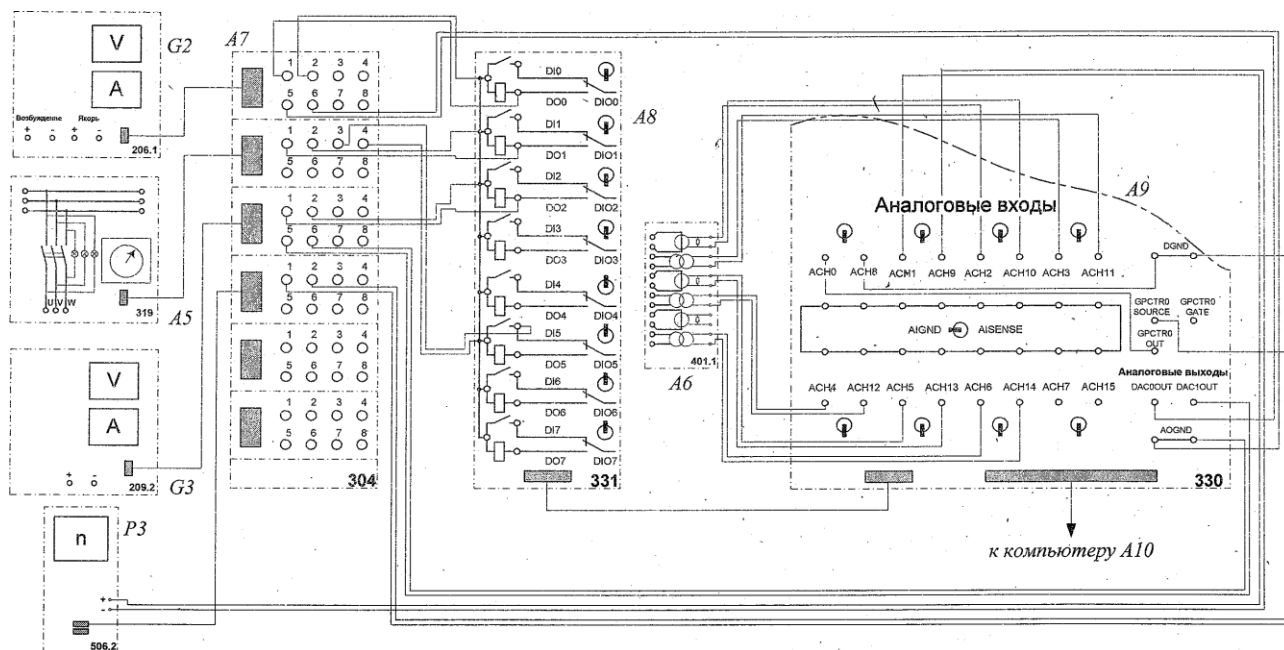


Рис.6.3. Продолжение электрической схемы соединений

## 6.2. Перечень аппаратуры

| Обозначение | Наименование                                         | Тип   | Параметры                                                                                   |
|-------------|------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| A1          | Трехполюсный выключатель                             | 301.1 | 400 В ~; 10 А                                                                               |
| A2          | Трехфазная трансформаторная группа                   | 347.1 | 3 х 80 В·А; 230 (звезда) / 242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 В                              |
| A3          | Модель линии электропередачи                         | 313.2 | 400 В ~; 3 х 0,5 А                                                                          |
| A4          | Трехфазная трансформаторная группа                   | 347.2 | 3 х 80 В·А; 242, 235, 230, 126, 220, 133, 127 / 230 В (треугольник)                         |
| A5          | Блок синхронизации                                   | 319   | 400 В ~; 10 А<br>3 индикаторные лампы;<br>синхроскоп                                        |
| A6          | Блок измерительных трансформаторов тока и напряжения | 401.1 | 600 В/3 В (тр-р напряж.)<br>0,3 А/3 В (тр-р тока)                                           |
| A7          | Терминал                                             | 304   | 6 розеток с 8 контактами;<br>6х8 гнезд                                                      |
| A8          | Блок ввода-вывода цифровых сигналов                  | 331   | 8 входов типа «сухой контакт»;<br>8 релейных выходов                                        |
| A9          | Коннектор                                            | 330   | 8 аналог, диф. входов;<br>2 аналог, выхода;<br>8 цифр, входов/ выходов                      |
| A10         | Персональный компьютер                               | 550   | IBM совместимый, Windows 95-XP, монитор, мышь, клавиатура, плата сбора информации PCI 6024E |
| G1          | Трехфазный источник питания                          | 201.2 | 400 В ~; 16 А                                                                               |
| G2          | Источник питания двигателя постоянного тока          | 206.1 | Цепь якоря 0...250 В ~; 3 А<br>Цепь возбуждения 200 В ~; 1 А                                |
| G3          | Возбудитель синхронной машины                        | 209.2 | 0...40 В 3,5 А                                                                              |
| G4          | Машина переменного тока                              | 102.1 | 100 Вт/~ 230 В / 1500 мин <sup>-1</sup>                                                     |
| G5          | Преобразователь угловых перемещений                  | 104   | 6 вых. каналов/ 2500 импульсов за оборот                                                    |
| M1          | Машина постоянного тока                              | 101.2 | 90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2х110 В/0,25 А (возбуждение)                               |
| PI          | Измеритель мощностей                                 | 507.2 | 15; 60; 150; 300; 600 В/ 0,05; 0Д; 0,2; 0,5 А.                                              |

|    |                                |       |                                                                  |
|----|--------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------|
| P2 | Измеритель напряжений и частот | 504.2 | 2 вольтметра 0...500 В ~<br>2 частотомера 45...55 Гц;<br>220 В ~ |
| P3 | Указатель частоты вращения     | 506.2 | 2000...0...2000 мин <sup>-1</sup>                                |

### 6.3. Указания по проведению эксперимента

- 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.
- Переключатели номинальных фазных напряжений трехфазных трансформаторных групп **A2** и **A4** установите равными 220 В. Параметры линии электропередачи **A3** установите следующими:  $R = 50 \text{ Ом}$ ,  $L/R_l = 0,9 \text{ Гн/24 Ом}$ ,  $C1=C2=0 \text{ мкФ}$ .
- Переключатели режимов работы трехполюсного выключателя **A1**, источника **G2** питания двигателя постоянного тока, блока **A5** синхронизации, возбудителя **G3** синхронной машины установите в положение «**РУЧН.**». Тумблеры делителей напряжения коннектора **A9** установите в положение «**1:1**». Тумблер выбора режима работы общей точки аналоговых входов коннектора **A9** установите в положение «**AIGND**». Тумблеры выбора режима работы цифровых входов/выходов блока **A8** 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, измерителя **P1** мощностей, указателя **P3** частоты вращения, блока **A5** синхронизации.
- Включите источник **G1**. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер **A10** и запустите программу «**Автоматическое управление - 2**».
- Включите выключатель **A1** нажатием на кнопку «**ВКЛ.**» на его передней панели.
- 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 **M1** (генератора **G4**) 1500 мин<sup>-1</sup>.
  - 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 **P2**.

- Обеспечьте условия синхронизации согласно табл. 4. (см. эксперимент 1.1.1) и подключите генератор к сети нажатием на кнопку «**ВКЛ.**» блока **A5** синхронизации.

➤ Нагрузите генератор активной и реактивной мощностями, вращая регулировочные рукоятки источника **G2** и возбудителя **G3** соответственно. Значения мощностей наблюдайте по измерителю **P1** и по виртуальным приборам на экране монитора.

➤ Остановите силовой агрегат, выполнив следующие действия:

- Разгрузите генератор по активной и реактивной мощностям, вращая регулировочные рукоятки источника **G2** и возбудителя **G3** соответственно.

- Отключите генератор от сети, нажав для этого кнопку «**ОТКЛ.**» блока **A5** синхронизации.

- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя **G3**, снимите возбуждение с генератора **G4**. Отключите возбудитель **G3** нажатием на кнопку «**ОТКЛ.**» на его передней панели.

- Вращая регулировочную рукоятку источника **G2** против часовой стрелки до упора, остановите двигатель **M1** (генератор **G4**). Отключите источник **G2** нажатием на кнопку «**ОТКЛ.**» на его передней панели.

➤ Остановите сбор данных, нажав для этого виртуальную кнопку «**Остановить**»  или выбрав соответствующий пункт из меню «**Действия**».

➤ Переключатели режима работы блока **A5** синхронизации, источника **G2** питания двигателя постоянного тока, возбудителя **G3** синхронной машины установите в положение «**АВТ.**».

➤ Включите выключатель «**СЕТЬ**» блока ввода-вывода цифровых сигналов **A8**.

➤ Выберите автоматический режим работы, нажав для этого соответствующую виртуальную кнопку  на экране компьютера.

➤ Вращая регулировочные рукоятки, задайте уставки активной и реактивной мощностей.

➤ Задайте уставки управления, нажав на соответствующую виртуальную кнопку . Например, оставьте уставки, заданные по умолчанию.

➤ Нажмите на виртуальную кнопку «**Запустить**» .

➤ Нажмите на виртуальную кнопку программы «**ПУСК**». Генератор должен разогнаться, возбудиться, подключиться к сети и набрать заданные активную и реактивную мощности.

➤ Вращая виртуальные регулировочные рукоятки, измените уставки мощностей генератора и наблюдайте изменение их значений.

➤ Нажмите на виртуальную кнопку программы «**СТОП**». Генератор должен разгрузиться по активной и реактивной мощностям, отключиться от сети, плавно снизить возбуждение и остановиться.

➤ Нажмите на виртуальную кнопку программы «**Остановить**» .

➤ Нажмите на виртуальную кнопку программы «**Отобразить записанный процесс**» . На экране графопостроителя появятся зависимости записанных режимных параметров от времени и 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, задаваясь требуемыми значениями упомянутых параметров.

➤ При работе с программой следует пользоваться её возможностями:

- 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 автоматического управления.

- 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.
  - Уставку скольжения задавайте в диапазоне 0,1... 1,0 %.
  - Необходимо учитывать, что имеются погрешности определения режимных параметров, которые могут повлиять на выбор момента включения выключателя блока **A5** 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.
- По завершении экспериментов отключите источник **G1** и выключатели «**СЕТЬ**» действовавших блоков. Закройте программу «**Автоматическое управление - 2**».

#### 6.4. Контрольные вопросы

1. Как влияет регулирование активной и реактивной мощностей при работе генератора при отключении его от системы.
2. Баланс мощностей.
3. Как влияет изменение параметров синхронизации (скольжения, разницы напряжений генератора и сети, угол или время опережения и др.) на процесс синхронизации генератора и системы.
4. Какие имеются погрешности определения режимных параметров, которые могут повлиять на выбор момента включения выключателя блока A5 синхронизации.
5. Чем отличается работа одномашинной автономной электрической системы от одномашинной электрической системы, работающей параллельно с электрической системой бесконечной мощности?

## 7. ЛИТЕРАТУРА

1. Савина, Наталья Викторовна. Применение теории вероятностей и методов оптимизации в системах электроснабжения [Текст]: учеб. пособие: рек. ДВ РУМЦ / Н. В. Савина – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. –272 с.
2. Чемборисова, Наиля Шавкатовна. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей [Текст] : учеб. пособие / Н. Ш. Чемборисова, А. С. Степанов, В. М. Пейзель. – Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2006. –104 с.
3. Мызин А.Л. Планирование развития электроэнергетических систем: учеб. пос. / А.Л. Мызин. – Екатеринбург: Уральский гос. техн. ун-т, 2004. –55 с.
4. Веников В.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем. М.:Энергоатомиздат, 1990. –352с.
5. Филиппова, Н.Г. Основы разработки экспертных систем поддержки принятия решений в электроэнергетике: Лаб. практикум по курсу «Оптимизация развития энергосистем»: учеб. пособие/ Н. Г. Филиппова. – М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2003. –48 с.
6. Филиппова, Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем: учеб./ Т.А. Филиппова. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос.техн. ун-та, 2005. –298 с.
7. Совалов С.А. Режимы Единой энергосистемы. – М.: Энергоатомиздат, 1983. –384с.
8. Арзамасцев Д.А. и др. Модели оптимизации развития энергосистем: учеб.для электроэнергет. спец. вузов / Д.А. Арзамасцев, А.В. Липес, А.Л. Мызин / Под ред.Д.А. Арзамасцева. – М.: Высш. шк., 1987. –272 с.
9. Анализ развития крупных системных аварий. Беляев А.Н., Горюнов Ю.П., Смирнов А.А., Смоловик С.В. – СПб: СПбГПУ, 2005 –57с.