

## **ПРЕДИСЛОВИЕ**

Целью курса «Электромеханические системы» (ЭМС) является изучение принципов построения наиболее распространенного класса исполнительных устройств систем управления и автоматики. При этом широко используются знания полученные ранее в ходе изучения теоретической механики физики, электротехники, теории автоматического управления и других дисциплин общеинженерных циклов. Однако, практическое применение этих знаний ранее отсутствовало. В ходе лабораторного практикума по курсу ЭМС проходит ознакомление студентов, обучающихся по направлениям, связанным с автоматизацией технологических процессов и производств, со схемными решениями, конструктивными особенностями и основными характеристиками электромеханических систем. Студенты получают навыки в работе с современным технологическим оборудованием и программными средствами для проведения экспериментов

Практикум базируется на таких теоретических курсах, как «Электротехника и основы электроники», «Элементы и аппараты систем управления», «Теория автоматического управления», микросхемотехника» и других, изучаемых в циклах общенаучных и общеинженерных дисциплин.

В первом разделе лабораторного практикума приведена последовательность выполнения лабораторных работ, требования к содержанию отчётов и контрольные вопросы. В приложении содержится описание применяемых в работах электрических машин и аппаратов. Приведены правила работы с оборудованием, описание программного обеспечения.

## Введение

В настоящем руководстве описаны лабораторные работы, выполняемые на комплекте типового лабораторного оборудования «Электрический привод». В ходе их воспроизводятся установившиеся и переходные процессы в электроприводах постоянного и переменного тока.

Аппаратно-программный комплекс лабораторного оборудования предназначен для выполнения лабораторных работ по учебной дисциплине «Электромеханические системы» и смежным с ней дисциплинам.

В ходе выполнения работ приобретаются знания в области электротехники, электропривода, силовой электроники и навыки в работе с образцами промышленного электромеханического оборудования, их экспериментального исследования.

Аппаратная часть комплекта выполнена по блочному (модульному) принципу и содержит:

- спроектированные с учебными целями натурные аналоги электрических машин, трансформаторов и элементов электрических цепей;

- источники питания;

- измерительные преобразователи и приборы;

- компьютер со встроенной платой ввода/вывода данных фирмы National Instruments;

- трехсоставной лабораторный стол со встроенным контейнером для хранения съемных функциональных блоков, проводников и методических материалов, рамами для установки необходимых в эксперименте функциональных блоков, выкатной полкой для клавиатуры компьютера и подставкой для системного блока последнего.

Программное обеспечение выполнено на базе оболочки Delphi и ПО фирмы National Instruments.

Питание комплекса осуществляется от трехфазной электрической сети напряжением 380 В с нейтральным и защитным проводниками.

Параметры компонентов стенда приведены в Приложении 1.

Порядок работы со специальной аппаратурой и программным обеспечением – в Приложении 2.

**Лабораторная работа №1**  
**Исследование электромеханической системы**  
**«Источник напряжения промышленной частоты - асинхронный**  
**двигатель с фазным ротором»**

В настоящей работе исследуется разомкнутая электромеханическая система управления асинхронным двигателем с фазным ротором.

Цель работы.

Исследование статических и динамических характеристик ЭМС «асинхронный двигатель с фазным ротором – источник напряжения промышленной частоты».

Программа работы.

1. Определение координат и параметров электропривода в статическом режиме.
2. Определение статической механической характеристики двигателя.
3. Регулирование скорости вращения двигателя изменением сопротивления реостата в цепи ротора.
4. Определение координат и параметров ЭМС в переходном режиме.

**Описание электрической схемы соединений**

Схема соединений лабораторного оборудования для проведения экспериментов представлена на рис.1, а перечень примененного оборудования – в таблице 1.0.

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для питания регулируемым напряжением обмоток машины постоянного тока G3 с параллельным возбуждением, работающей в режиме тормоза.

Преобразователь угловых перемещений G4 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P1 электромашинного агрегата.

Машина (асинхронный двигатель с фазным ротором) M1 получает питание от источника G1 через трехфазную трансформаторную группу A1 и трехполюсный выключатель A3.

Реостат А4 служит для изменения активного сопротивления цепи ротора асинхронного двигателя М1.

Измеритель мощностей Р2 используется для измерения активной мощности в фазе «А» исследуемого двигателя М1.

С помощью мультиметра блока Р1 контролируется ток фазы «А» двигателя М1.

Датчики тока и напряжения блока А5 гальванически изолируют от силовой электрической цепи и нормирует сигналы о токе фазы «А», напряжении фазы «А» и напряжении фазы «В» исследуемого двигателя М1.

Коннектор А6 выполняет функцию связующего звена между компьютером А7 и блоком измерительных трансформаторов А5.

Компьютер А7 используется в режиме информационно-измерительной системы.

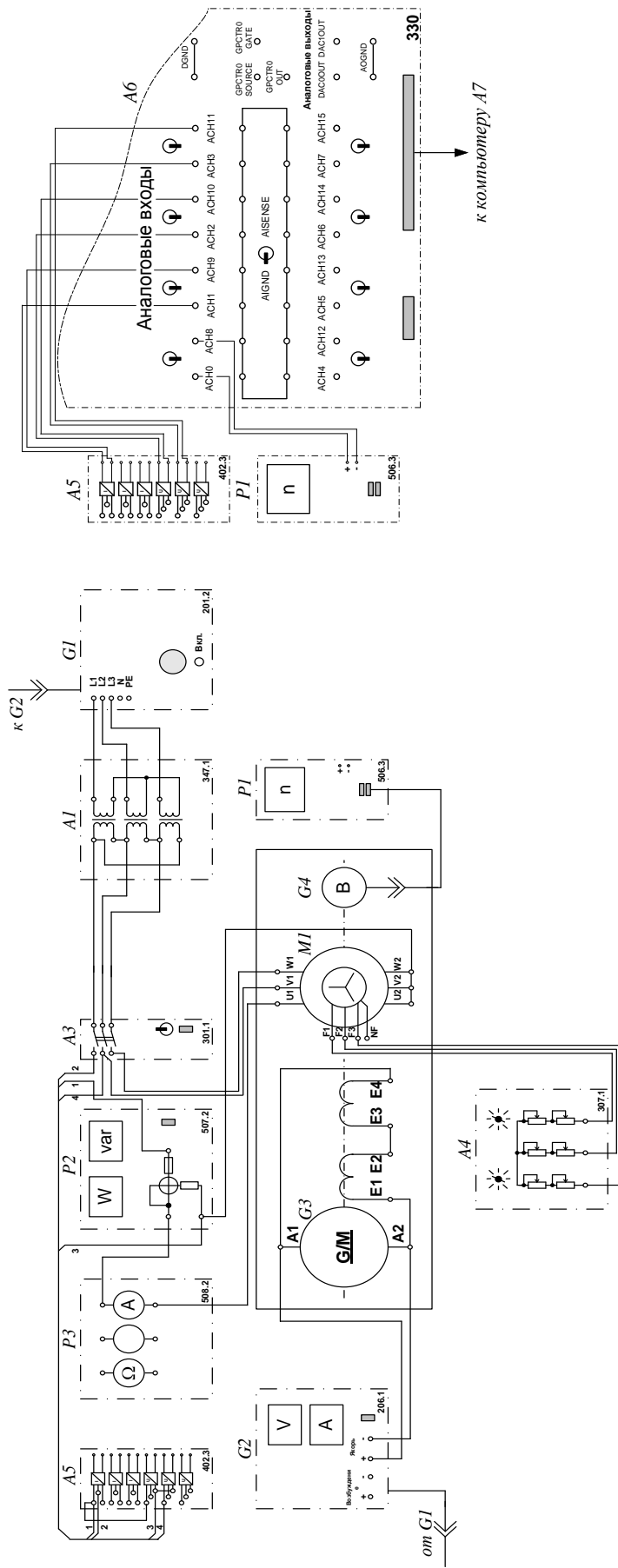


Рис. 1

## Перечень аппаратуры

Таблица 1.0

Обозн.	Наименование	Тип	Параметры
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3 x 80 В·А; 230 / 242, 235, 230, 226, 220, 133, 127 В
A3	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A4	Реостат для цепи ротора машины переменного тока	307.1	3 × 0...40 Ом; 1 А
A5	Блок датчиков тока и напряжения	402.3	3 измерительных преобразователя «ток-напряжение» 5А/0,5А/5 В; 3 измерительных преобразователя «напряжение-напряжение» 1000 В/100 В/3 В
A6	Коннектор	330	8 аналог. дифф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/выходов
A7	Персональный компьютер	550	IBM-совместимый, плата сбора информации PCI 6024E
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	0...250 В – 3 А (якорь) 200 В –; 1 А (возбуждение)
G3	Машина постоянного тока	101.1	90 Вт; 220 В 0,76 А (якорь) 220 В (возбуждение)
G4	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных сигналов
M1	Машина переменного тока	102.1	100 Вт; 230 В ~; 1500 мин <sup>-1</sup>
P1	Указатель частоты вращения	506.3	2000...0...2000 мин <sup>-1</sup>
P2	Измеритель мощностей	507.2	15; 60; 150; 300; 600 В, 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А
P3	Блок мультиметров	508.2	3 мультиметра 0...1000 В ≈; 0...10 А ≈; 0...20 МОм

## Указания по проведению экспериментов

- Перед началом экспериментов ознакомьтесь с инструкцией, изучите программу работ и план экспериментов.
- Ознакомьтесь с особенностями работы с аппаратно- программным комплексом (Приложения 1 и 2).
- Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (стр. 54).
- Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключатели режима работы источника G2 и выключателя А3 установите в положение «РУЧН.».
- Регулировочные рукоятки источника G2 и реостата А4 поверните против часовой стрелки до упора.
- Установите переключателями в блоке А1 номинальное вторичное фазное напряжение трансформаторов 133 В.
- Включите выключатели «СЕТЬ» указателя частоты вращения Р1, измерителя мощностей Р2, блока мультиметров Р3 и выключателя А3.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Осуществите пуск двигателя М1 включением выключателя А3.

### **1. Определение координат и параметров электропривода в статическом режиме**

- Частоту вращения  $n$  [ $\text{мин}^{-1}$ ] двигателя М1 измеряйте с помощью указателя Р1.
- Активную  $P$  [Вт] и реактивную  $Q$  [Вар] мощности, потребляемые двигателем М1, определяйте с помощью измерителя Р2.
- Ток статора двигателя М1 измеряйте мультиметром блока Р3.

#### **1.1.Определение статической механической характеристики двигателя**

- Включите выключатель «СЕТЬ» и нажмите кнопку «ВКЛ.» источника G2.

- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, изменяйте момент на валу исследуемого двигателя M1 и заносите значения тока I статорной обмотки, активной мощности P и частоты вращения n в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

I, А									
P, Вт									
n, мин <sup>-1</sup>									

- По завершении эксперимента поверните регулировочную рукоятку источника G2 против часовой стрелки до упора и нажмите кнопку «ОТКЛ.». Отключите выключатель A3 нажатием на кнопку «ОТКЛ.» и источник G1 нажатием на кнопку - гриб. Отключите выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.

- Используя данные табл. 1.1, вычислите значения угловой скорости  $\omega$  по выражению

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (1.1)$$

и электромагнитного момента M двигателя по выражению

$$M = \frac{3 \cdot P - 3 \cdot I^2 \cdot r}{\omega_0}, \quad (1.2)$$

где

P – активная мощность, потребляемая фазой двигателя M1, Вт;

r – активное сопротивление фазы статорной обмотки двигателя M1, Ом (r = 21 Ом);

I – фазный ток двигателя M1;

$\omega_0$  - угловая частота вращения магнитного поля двигателя M1.

Полученные результаты занесите в таблицу 1.2.

Таблица 1.2.

M, Н·м									
$\omega$ , с <sup>-1</sup>									

- Используя данные табл. 1.2, постройте в виде графика механическую характеристику  $\omega = f(M)$  двигателя.



- Повторите эксперимент для других (2...3 значения до максимально возможного) величин добавочного сопротивления в цепи ротора.

### 1.2.Регулирование скорости вращения двигателя изменением сопротивления реостата в цепи ротора

- Включите выключатели «СЕТЬ» указателя частоты вращения P1, измерителя мощностей P2, блока мультиметров P3 и выключателя A3.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Осуществите пуск двигателя M1 включением выключателя A3.
- Посредством регулировочных рукояток реостата A4 изменяйте его сопротивление R и заносите значения последнего и показания указателя P1 в таблицу 1.3.

Таблица 1.3.

R, Ом								
n, мин <sup>-1</sup>								

- Повторите эксперимент для случая, когда момент нагрузки на валу двигателя не равен нулю. Для этого задайте момент нагрузки изменяя ток источника G2. Снимите показания указателя P1 при изменении сопротивления в роторной цепи аналогично предыдущему случаю.

- По завершении экспериментов отключите выключатель A1 нажатием на кнопку «ОТКЛ.» и источник G1 нажатием на кнопку - гриб. Отключите выключатели «СЕТЬ» всех задействованных в эксперименте блоков.

- Используя данные табл. 1.4.3. вычислите значения угловой скорости  $\omega$  двигателя по выражению (1.1.) и занесите полученные результаты в табл. 1.4.

Таблица 1.4.

R, Ом								
$\omega$ , с <sup>-1</sup>								

- Используя данные табл. 1.3 и 1.4., постройте зависимости  $\omega_{R=R_i} = f(M)$ ,  $\omega_{M=M_i} = f(R)$

## **2. Определение координат и параметров электропривода в переходном режиме**

• Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А7. Запустите программу «Регистратор режимных параметров машины переменного тока».


• Включите выключатели «СЕТЬ» у всех используемых в эксперименте блоков.

• Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

• Осуществите пуск двигателя М1 включением выключателя А3.

• Нажмите кнопку «ВКЛ.» источника G2.

• Вращением регулировочной рукоятки источника G2 установите его выходной ток равным 0,7 А.

• Начните сбор данных, нажав на виртуальную кнопку «Запустить» .

• Организуйте интересующий переходный процесс, например, сброс-наброс нагрузки двигателя М1. Для чего нажмите кнопку «ОТКЛ.» и спустя 5 с – кнопку «ВКЛ.» источника G2.

• Наблюдайте изменение координат и параметров электропривода в реальном времени.

• Сразу после завершения переходного процесса нажмите виртуальную кнопку «Остановить» и анализируйте запомненные зависимости координат и параметров электропривода от времени.


• По завершении эксперимента отключите выключатель А1 нажатием на кнопку «ОТКЛ.» и источник G1 нажатием на кнопку - гриб. Отключите выключатели «СЕТЬ» задействованных в эксперименте блоков.

### ***Рекомендации по использованию программы «Регистратор режимных параметров машины переменного тока»***

• Для определения координат точек на графиках используйте отображаемые на экране текущие координаты указателя мыши.

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

- Графики относительно осей координат двигайте путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.

- Очищайте область построения механической характеристики нажатием на соответствующую виртуальную кнопку  или клавишу «Пробел».

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется каждым студентом индивидуально и содержит:

- Цель работы
- Схему исследуемой системы.
- Название и содержание экспериментов
- Результаты в виде таблиц, временных и параметрических зависимостей.
- Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы.**

- Какие способы управления тиристорными силовыми группами используются в преобразователях?
- Основные возмущения, действующие на систему ТП-Д.
- Структурная схема исследуемой ЭМС.
- Статические характеристики исследуемой ЭМС.
- Динамические характеристики исследуемой ЭМС.

### **Литература**

1. Ильинский Н.Ф. Общий курс электропривода / Н.Ф. Ильинский, МЭИ –М,2007.-224с.-ISBN-978-5-383-00001-4/
2. Алексеев К.Б. Электромеханические системы /К.Б. Алексеев, Моск. гос. индустр. ун-т. –М, 2008.-144с. –ISBN 978-5-2760-1179-0.
3. Воробьев В.Е. Основы электромеханики / В.Е. Воробьев, Сев.западн. заочн. техн. ун-т.- СПб,2003-79с.

## **Лабораторная работа №2**

### **Исследование электромеханической системы «Источник напряжения промышленной частоты - синхронный двигатель»**

В настоящей работе исследуется разомкнутая электромеханическая система управления синхронным двигателем.

Цель работы.

Исследование статических и динамических характеристик ЭМС «синхронный двигатель – источник напряжения промышленной частоты».

Программа работы.

1. Определение координат и параметров электропривода в статическом режиме
2. Определение статических угловых характеристик двигателя.
3. Определение статической U-образной характеристики двигателя.
4. Регулирование реактивной мощности двигателя изменением возбуждения
5. Определение координат и параметров электропривода в переходном режиме

#### **Описание электрической схемы соединений**

Схема соединений лабораторного оборудования для проведения экспериментов представлена на рис.2 -1, ...2 -3. Перечень оборудования, применяемого при проведении лабораторной работы, приведен в таблице 2.0.

Источник G1 - источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для питания регулируемым напряжением обмотки возбуждения машины постоянного тока G4, работающей в режиме генератора, нагруженного на активную нагрузку A5.

Возбудитель G3 используется для питания регулируемым напряжением обмотки возбуждения синхронного двигателя M1.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P3 и указателя угла нагрузки P4.

Машина переменного тока (синхронный двигатель) M1 получает питание от источника G1 через трехфазную трансформаторную группу A1 и трехполюсный выключатель A2.

Реостат для цепей ротора машины переменного тока включен в цепь ротора двигателя M1 через трехполюсный выключатель A3.

Измеритель мощностей P1 используется для измерения активной мощности в фазе «А» исследуемого двигателя M1.

С помощью мультиметра блока P2 контролируется ток фазы «А» двигателя M1.

Датчики тока и напряжения блока A4 гальванически изолируют от силовой электрической цепи и нормирует сигналы о токе фазы «А», напряжении фазы «А» и напряжении фазы «В» исследуемого двигателя M1.

Коннектор A7 выполняет функцию связующего звена между компьютером A8 и блоком измерительных трансформаторов A6.

Компьютер A8 используется в режиме информационно-измерительной системы.

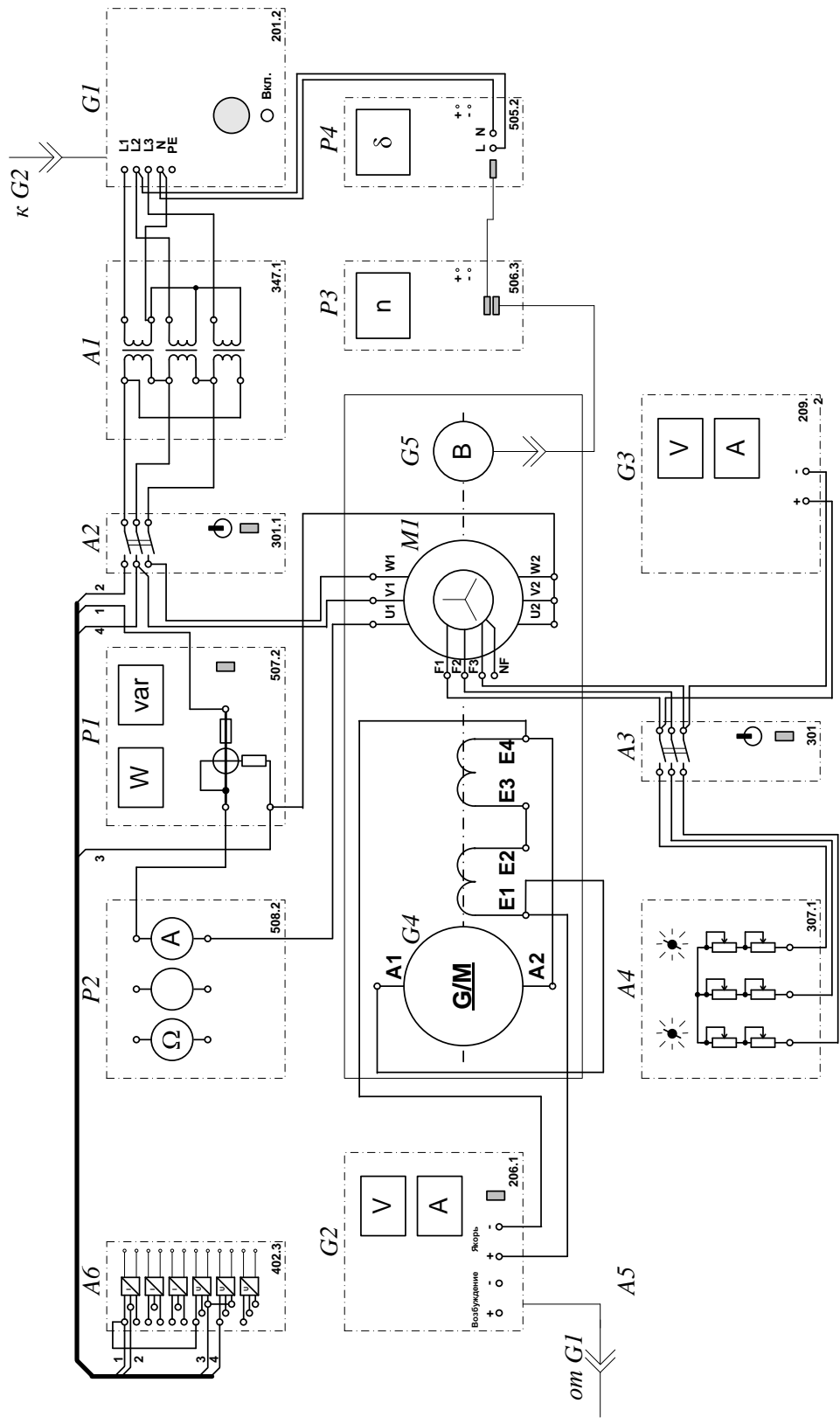


Рис. 2-1

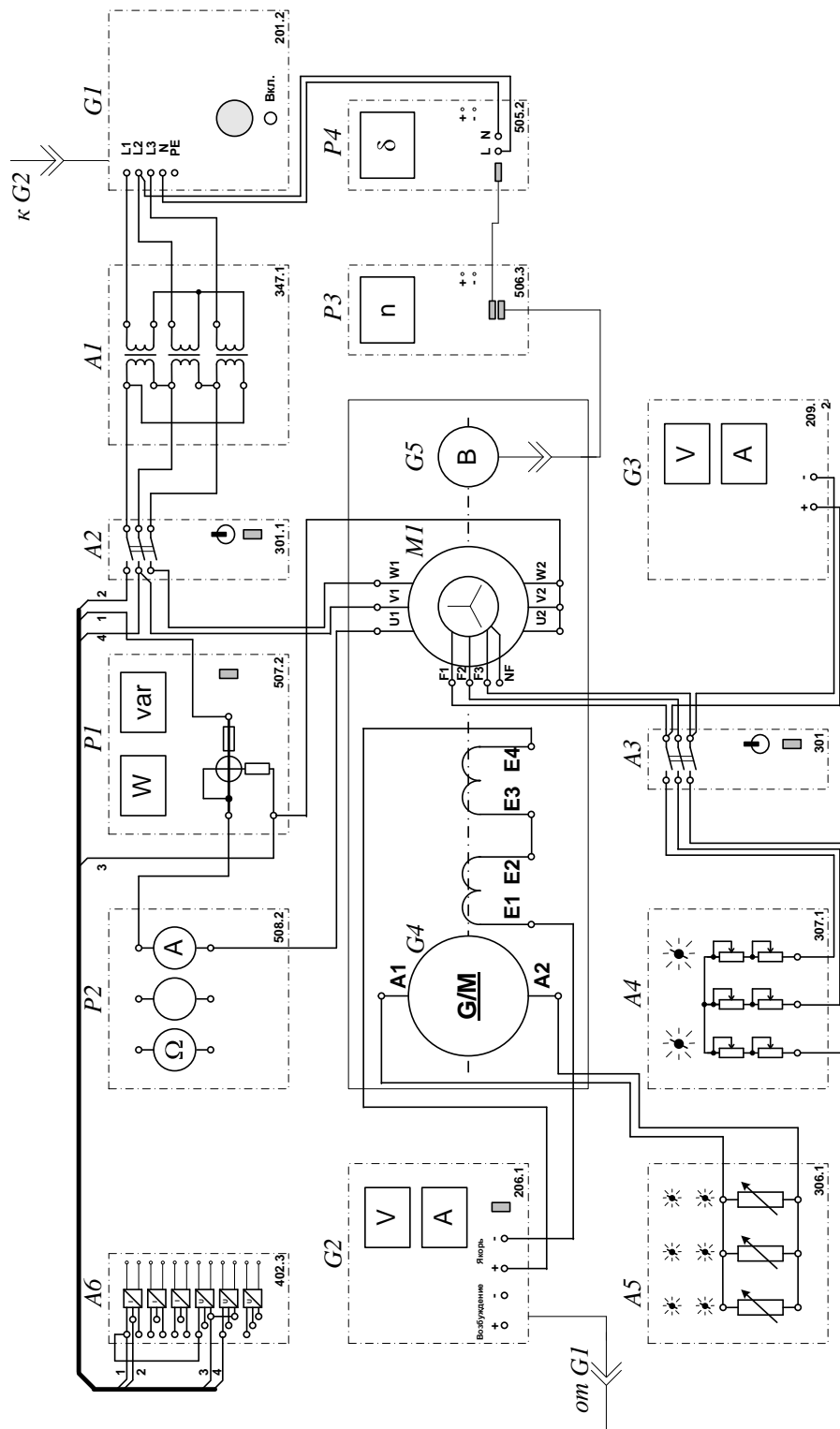


Рис. 2 -2

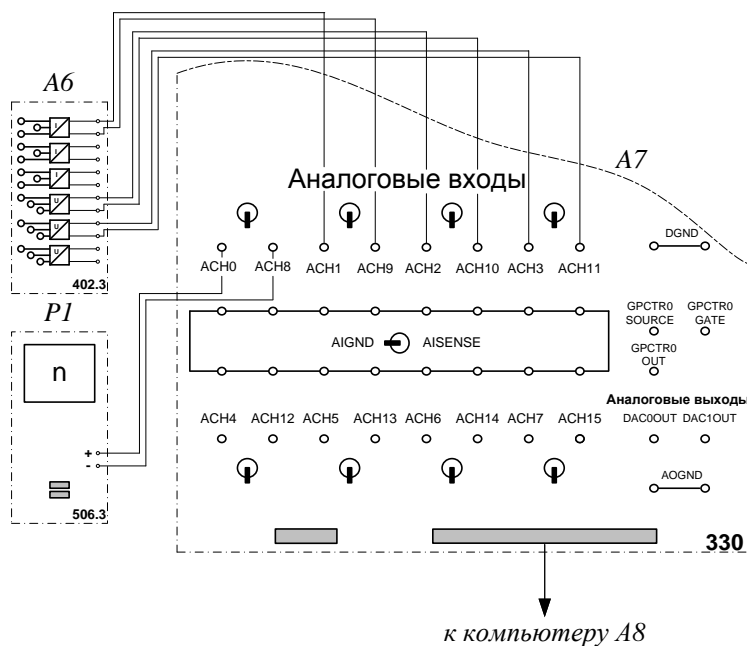


Рис. 2 -3.

### Перечень аппаратуры

Таблица 2.0

Обозн.	Наименование	Тип	Параметры
A1	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3×80 В·А; 230/242,235, 230, 226, 220, 133, 127 В
A2, A3	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В~; 10 А
A4	Реостат для цепи ротора машины переменного тока	307.1	3×0...40 Ом; 1 А
A5	Активная нагрузка	306.1	3 × 0...50 Вт; 220 В; 0,5 А
A6	Блок датчиков тока и напряжения	402.3	3 изм. преобразователя "ток - напряжение" 5 А/1 А/5 В; 3 изм. преобразователя "напряжение - напряжение" 1000 В/100 В/5 В
A7	Коннектор	330	8 аналог. дифф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов
A8	Персональный компьютер	550	IBM-совместимый плата сбора информации PCI 6024E
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А



Обозн.	Наименование	Тип	Параметры
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	0...250 В – 3 А (якорь) 200 В –; 1 А (возбуждение)
G3	Возбудитель машины переменного тока	209.2	0...40 В –; 3,5 А
G4	Машина постоянного тока	101.1	90 Вт; 220 В 0,76 А (якорь) 220 В(возбуждение)
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных сигналов
M1	Машина переменного тока	102.1	50 Вт; 230 В ~; 1500 мин <sup>-1</sup>
P1	Измеритель мощностей	507.2	15; 60; 150; 300; 600 В, 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А
P2	Блок мультиметров	508.2	0...1000 В ≈; 0...20 А ≈
P3	Указатель частоты вращения	506.3	2000...0...2000 мин <sup>-1</sup>
P4	Указатель угла нагрузки синхронной машины	505.2	– 180°...0...180°

### Указания по проведению экспериментов

- Перед началом экспериментов ознакомьтесь с инструкцией, изучите программу работ и план экспериментов.
- Ознакомьтесь с особенностями работы с аппаратно- программным комплексом (Приложения 1 и 2).
- Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (стр. 54).
- Соедините гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.

### Настройка указателя угла нагрузки

- Соедините аппаратуру для настройки указателя угла нагрузки P4 в соответствии с электрической схемой соединений - рис. 2-1 – силовая часть стенда, рис. 2-3 - информационная.
- Переключатели режима работы источника G2, возбудителя G3 и выключателей A2, A3 установите в положение «РУЧН.».

- Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.
- Тумблер пределов измерения угла указателя P4 угла нагрузки синхронной машины установите в положение  $200^{\circ}$ .
- Номинальное вторичное фазное напряжение трансформаторной группы A1 установите равным 220 В.
- Установите сопротивления фаз реостата A4 равными 8 Ом.
- Включите выключатели «СЕТЬ» всех используемых в эксперименте блоков.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Нажмите кнопку «ВКЛ» трехполюсного выключателя A3.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, установите напряжение на его выходе равным 20 В.
- Нажмите кнопку «ВКЛ» трехполюсного выключателя A2. Двигатель должен прийти во вращение.
- Нажмите кнопку «ВКЛ» возбудителя G3.
- Сразу после вхождения двигателя M1 в синхронизм отключите выключатель A3 нажатием кнопки «ОТКЛ».
- Нажмите кнопку «ВКЛ.» источника G2.
- Вращая регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3, установите потребляемые двигателем M1 активную и реактивные мощности, равные 0 Вт и 0 Вар.
- Установите с помощью потенциометров «УСТАНОВКА НУЛЯ» («ГРУБО» и «ТОЧНО») указателя угла нагрузки P4 угол нагрузки, равный  $0^{\circ}$ .
- Отключите источник G1 нажатием на кнопку-гриб. Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, используемых в эксперименте.

### *Подготовка к экспериментам*

- Перед началом экспериментов ознакомьтесь с инструкцией, изучите программу работ и план экспериментов.
- Ознакомьтесь с особенностями работы с аппаратно- программным комплексом (Приложения 1 и 2).
- Соедините аппаратуру силовой части в соответствии с электрической схемой соединений - рис. 2-2

- Переключатели режима работы источника G2, возбудителя G3 и выключателей A2, A3 установите в положение «РУЧН.».
- Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.
- Тумблер пределов измерения угла указателя P4 угла нагрузки синхронной машины установите в положение 2000.
- Переключатели активной нагрузки A5 установите в крайнее по часовой стрелке положение.
- Номинальное вторичное фазное напряжение трансформаторной группы A1 установите равным 133 В.
- Установите сопротивления фаз реостата A4 равными 8 Ом.
- Включите выключатели «СЕТЬ» всех используемых в эксперименте блоков.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Нажмите кнопку «ВКЛ» трехполюсного выключателя A3.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, установите напряжение на его выходе равным 20 В.
- Нажмите кнопку «ВКЛ» трехполюсного выключателя A2. Двигатель должен прийти во вращение.
- Нажмите кнопку «ВКЛ» возбудителя G3.
- Сразу после вхождения двигателя M1 в синхронизм отключите выключатель A2 нажатием кнопки «ОТКЛ».

## **1. Определение координат и параметров электропривода в статическом режиме**

- Частоту вращения  $n$  [мин<sup>-1</sup>] двигателя M1 измеряйте с помощью указателя P3.
- Активную  $P$  [Вт] и реактивную  $Q$  [Вар] мощности, потребляемые двигателем M1, определяйте с помощью измерителя P1.
- Ток статора двигателя M1 измеряйте мультиметром блока P2.
- Ток возбуждения двигателя M1 измеряйте амперметром возбудителя G3.
- Угол нагрузки (фазовый сдвиг между ЭДС двигателя M1 и напряжением источника G1) фиксируйте по указателю P4.

### **1.1. Определение статических угловых характеристик двигателя**

- Нажмите кнопку «ВКЛ.» источника G2.
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, изменяйте угол нагрузки  $\Theta$  двигателя M1 и заносите показания блока P4, ваттметра измерителя мощностей P1 и амперметра блока P2 в таблицу 2.1.

Таблица 2.1.

$\Theta$ , Град								
P, Вт								
I, А								

- В случае перехода двигателя M1 в асинхронный режим работы разгружайте его по активной мощности, вращая регулировочную рукоятку источника G2 против часовой стрелки до тех пор, пока не восстановится синхронная работа двигателя с сетью.

- После завершения эксперимента, используя данные таблицы 2.1., постройте в виде графика угловую характеристику  $P = f(\Theta)$  двигателя M1.

- После завершения эксперимента, используя данные табл. 2.1, вычислите значения электромагнитного момента M двигателя по выражению (1.4.1.). Полученные результаты занесите в таблицу 2.2.

Таблица 2.2.

$\Theta$ , Град								
M, Н·м								

- После завершения эксперимента, используя данные табл. 2.2., постройте в виде графика угловую характеристику  $M = f(\Theta)$  двигателя M1.

## 1.2. Определение статической U-образной характеристики двигателя

- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите активную мощность, потребляемую двигателем M1 из сети, равной, например, 75 Вт и поддерживайте её в ходе эксперимента.

- Вращая регулировочную рукоятку возбuditеля G3, изменяйте ток возбуждения  $I_f$  двигателя M1 в диапазоне 0,8..2 А и заносите показания амперметра возбuditеля G3 и амперметра блока P2 в таблицу 2.3.

Таблица 2.3.

$I_f, A$									
$I, A$									

- В случае перехода двигателя М1 в асинхронный режим работы разгружайте его по активной мощности, вращая регулировочную рукоятку источника G2 против часовой стрелки до тех пор, пока не восстановится синхронная работа двигателя с сетью.
- После завершения эксперимента по данным табл. 2.3. постройте в виде графика U-образную характеристику  $I = f(\varphi)$  двигателя М1.

### 1.3. Регулирование реактивной мощности двигателя изменением возбуждения

- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите активную мощность, потребляемую двигателем М1 из сети, равной, например, 75 Вт и поддерживайте её в ходе эксперимента.
- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, изменяйте ток возбуждения  $I_f$  двигателя М1 в диапазоне 0,8..2 А и заносите показания амперметра возбудителя G3 и варметра измерителя мощностей Р1 в таблицу 2.4.



Таблица 2.4

$I_f, A$									
$Q, \text{ВАр}$									


- В случае перехода двигателя М1 в асинхронный режим работы разгружайте его по активной мощности, вращая регулировочную рукоятку источника G2 против часовой стрелки до тех пор, пока не восстановится синхронная работа двигателя с сетью.
- После завершения эксперимента, используя данные табл. 2.4., постройте в виде графика зависимость  $Q = f(\varphi)$ .

## 2. Определение координат и параметров электропривода в переходном режиме

- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А7. Запустите программу «Регистратор режимных параметров машины переменного тока».

- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите активную мощность, потребляемую двигателем M1 из сети, равной, например, 75 Вт.
- Начните сбор данных, нажав на виртуальную кнопку «Запустить» .
- Организуйте интересующий переходный процесс, например, сброс-наброс нагрузки двигателя M1. Для чего нажмите кнопку «ОТКЛ.» и спустя 5 с – кнопку «ВКЛ.» источника G2.
- Наблюдайте изменение координат и параметров электропривода в реальном времени.
- Сразу после завершения переходного процесса нажмите виртуальную кнопку «Остановить»  и анализируйте запомненные зависимости координат и параметров электропривода от времени.
- По завершении эксперимента, вращая против часовой стрелки регулировочную рукоятку источника G2, разгрузите двигатель M1 по активной мощности. Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G2. Отключите источник G1 нажатием на кнопку-гриб. Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, используемых в эксперименте.

### ***Рекомендации по использованию программы «Регистратор режимных параметров машины переменного тока»***

- Для определения координат точек на графиках используйте отображаемые на экране текущие координаты указателя мыши.
- Масштабирование производите путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляйте обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Графики относительно осей координат двигайте путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Очищайте область построения механической характеристики нажатием на соответствующую виртуальную кнопку  или клавишу «Пробел».

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется каждым студентом индивидуально и содержит:

- Цель работы

- Схему исследуемой системы.
- Название и содержание экспериментов
- Результаты в виде таблиц, временных и параметрических зависимостей.
- Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы.**

- Какие способы управления синхронными машинами используются в ЭМС?
- Основные возмущения, действующие на синхронный двигатель.
- Структурная схема исследуемой ЭМС.
- Статические характеристики исследуемой ЭМС.
- Динамические характеристики исследуемой ЭМС.

### **Литература**

1. Ильинский Н.Ф. Общий курс электропривода / Н.Ф. Ильинский, МЭИ –М,2007.-224с.-ISBN-978-5-383-00001-4/
2. Алексеев К.Б. Электромеханические системы /К.Б. Алексеев, Моск. гос. индустр. ун-т. –М, 2008.-144с. –ISBN 978-5-2760-1179-0.
3. Воробьев В.Е. Основы электромеханики / В.Е. Воробьев, Сев.западн. заочн. техн. ун-т.- СПб,2003-79с.

### **Лабораторная работа №3**

#### **Исследование электромеханической системы**

#### **«Реверсивный тиристорный преобразователь - двигатель постоянного тока независимого возбуждения»**

В настоящей работе исследуется замкнутая электромеханическая система управления двигателем постоянного тока с тиристорным управляемым силовым преобразователем.

Цель работы.

Исследование статических и динамических характеристик ЭМС «двигатель постоянного тока – тиристорный преобразователь».

Программа работы.

1. Определение координат и параметров электропривода в статическом режиме.
2. Определение статической механической характеристики двигателя.
3. Регулирование скорости и направления вращения двигателя изменением напряжения якоря.
4. Определение координат и параметров электропривода в переходном режиме.

#### **Описание электрической схемы соединений**

Схема соединений лабораторного оборудования для проведения экспериментов представлена на рис.3 -1, 3 -2. Перечень оборудования, применяемого при проведении лабораторной работы, приведен в таблице 3.0.

Источник G1 – источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Тиристорный преобразователь/регулятор G2 используется для питания регулируемым напряжением обмотки якоря машины (двигателя) постоянного тока M1, работающей с независимым возбуждением.

Машина переменного тока G4, работающая в режиме генератора и обеспечивающая нагрузку на валу исследуемого двигателя, нагружена на активную нагрузку A1. Возбудитель G3 питает обмотку возбуждения машины G4 регулируемым напряжением.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы,



поступающие на вход указателя частоты вращения P1 электромашинного агрегата.

Трехфазная трансформаторная группа A2 служит для понижения напряжения, поступающего на тиристорный преобразователь G2 и блок диодов A3.

Блок диодов A3 служит для питания выпрямленным напряжением обмотки возбуждения двигателя M1.

Блоки дросселей A4 и A5 служат для ограничения уравнивающего тока в плечах реверсивного преобразователя.

Датчики тока и напряжения блока A6 гальванически изолируют от силовой электрической цепи и нормирует сигналы о токе и напряжении якоря и токе возбуждения исследуемого двигателя M1.

Терминал A7 служит для разветвления на отдельные проводники кабеля, подключенного к источнику G2.

Блок A8 служит для усиления цифровых сигналов.

Коннектор A9 выполняет функцию связующего звена между компьютером A10, блоком датчиков тока и напряжения A6, указателем частоты вращения P1 и блоком ввода-вывода цифровых сигналов A8.

Компьютер A10 используется в режиме информационно-измерительной и управляющей системы.

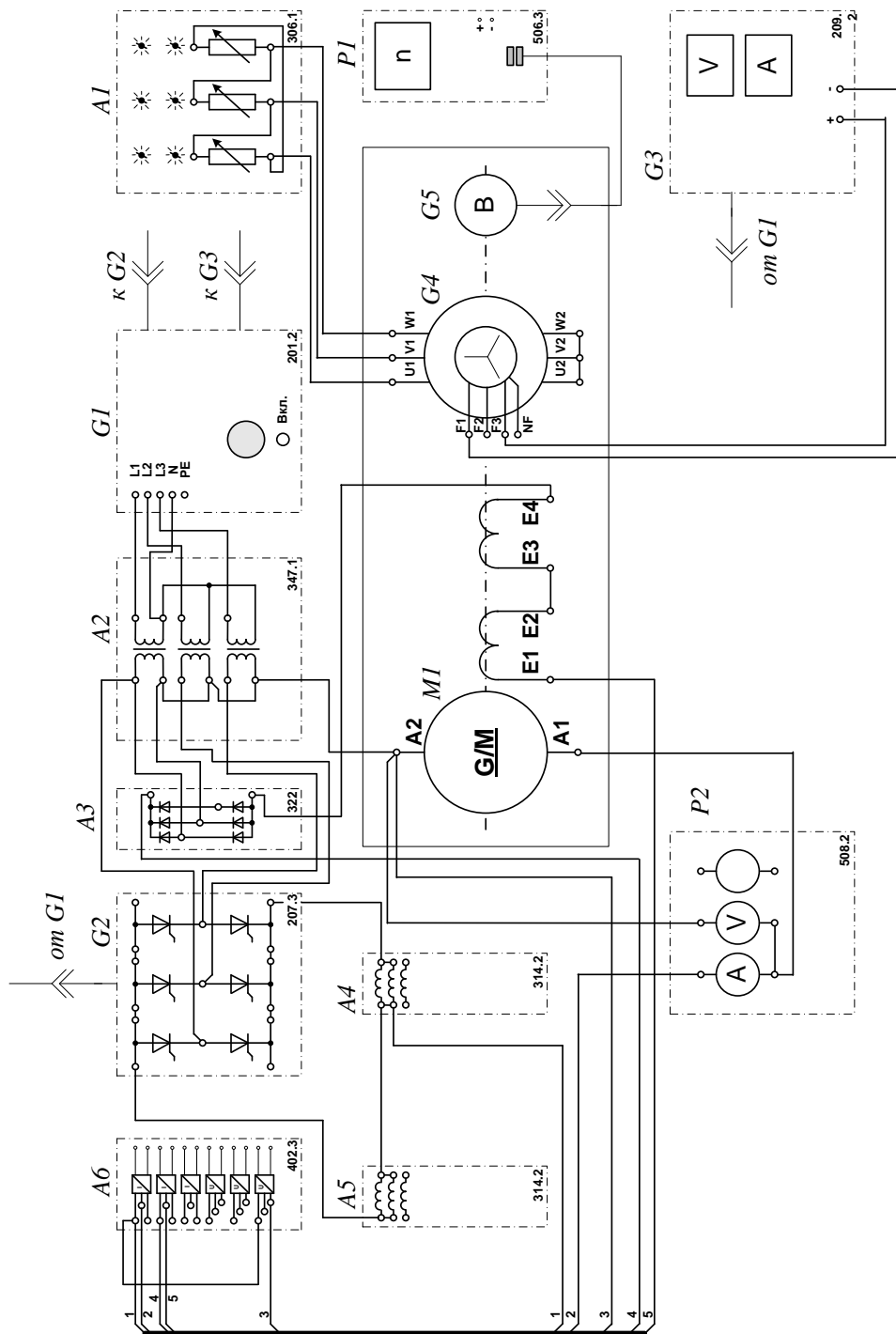


Рис. 3 - 1

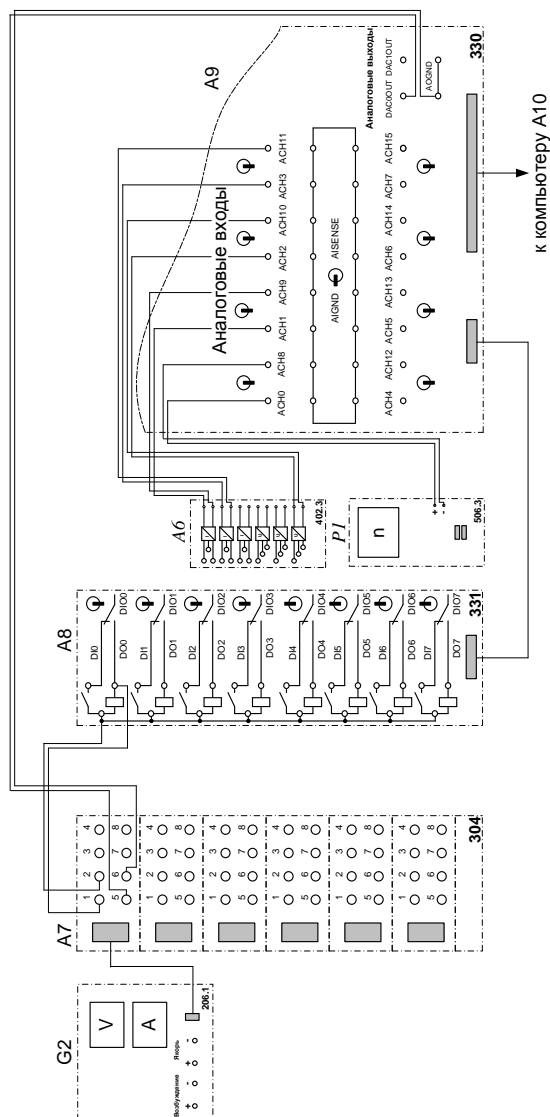


Рис. 3-2

### Перечень аппаратуры

Таблица 3-0

Обозн.	Наименование	Тип	Параметры
A1	Активная нагрузка	306.1	3 × 0...50 Вт; 220 В; 0,5 А
A2	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3 х 80 В·А; 230 / 240, 235, 230, 226, 220, 133, 127 В
A3	Выпрямитель	322	3×400В / 2 А
A4, A5	Линейный реактор	314.2	3×0,3 Гн / 0,5 А
A6	Блок датчиков тока и напряжения	402.3	3 изм. преобраз. «ток – напряжение» 5А/1А/5 В; 3 изм. преобраз. "напряжение - напряже- ние" 1000 В/100 В/5 В

Обозн.	Наименование	Тип	Параметры
A7	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A8	Блок ввода/вывода цифровых сигналов	331	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов
A9	Коннектор	330	8 аналог. дифф. входов; 2 аналог. выхода; 16 цифр. входов; 8 цифр. выходов
A10	Персональный компьютер	550	IBM-совместимый, плата сбора информации PCI 6024E
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
G2	Тиристорный преобразователь / регулятор	207.2	3 × 400 В ~; 4 А
G3	Возбудитель машины переменного тока	209.2	0...40 В –; 3,5 А
G4	Машина переменного тока	102.1	50 Вт; 230 В ~; 1500 мин <sup>-1</sup>
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных сигналов
M1	Машина постоянного тока	101.1	90 Вт; 220 В, 0,76 А (якорь) 220 В (возбуждение)
P1	Указатель частоты вращения	506.3	2000...0...2000 мин <sup>-1</sup>
P2	Блок мультиметров	508.2	0...1000 В ≈; 0...20 А ≈

### Описание электрической схемы соединений

Источник G1 – источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Тиристорный преобразователь/регулятор G2 используется для питания регулируемым напряжением обмотки якоря машины (двигателя) постоянного тока M1, работающей с независимым возбуждением.

Машина переменного тока G4, работающая в режиме генератора и обеспечивающая нагрузку на валу исследуемого двигателя, нагружена на активную нагрузку A1. Возбудитель G3 питает обмотку возбуждения

машины G4 регулируемым напряжением.

Преобразователь угловых перемещений G5 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P1 электромашинного агрегата.

Трехфазная трансформаторная группа A2 служит для понижения напряжения, поступающего на тиристорный преобразователь G2 и блок диодов A3.

Блок диодов A3 служит для питания выпрямленным напряжением обмотки возбуждения двигателя M1.

Блоки дросселей A4 и A5 служат для ограничения уравнивающего тока в плечах реверсивного преобразователя.

Датчики тока и напряжения блока A6 гальванически изолируют от силовой электрической цепи и нормирует сигналы о токе и напряжении якоря и токе возбуждения исследуемого двигателя M1.

Терминал A7 служит для разветвления на отдельные проводники кабеля, подключенного к источнику G2.

Блок A8 служит для усиления цифровых сигналов.

Коннектор A9 выполняет функцию связующего звена между компьютером A10, блоком датчиков тока и напряжения A6, указателем частоты вращения P1 и блоком ввода-вывода цифровых сигналов A8.

Компьютер A10 используется в режиме информационно-измерительной и управляющей системы.

### **Указания по проведению экспериментов**

- Перед началом экспериментов ознакомьтесь с инструкцией, изучите программу работ и план экспериментов.
- Ознакомьтесь с особенностями работы с аппаратно- программным комплексом (Приложения 1 и 2).
- Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (стр. 54).
- Соедините гнезда защитного заземления "⊕" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «PE» источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключатель режима работы возбудителя G3 установите в положение «РУЧН.».

- Номинальное вторичное фазное напряжение трехфазной трансформаторной группы А2 установите равным 220 В.

- Переведите регулировочные рукоятки активной нагрузки А1 в крайнее по часовой стрелке положение.

- Регулировочные рукоятки возбуждителя G3 и тиристорного преобразователя А3 поверните против часовой стрелки до упора.


- Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров Р2, указателя частоты вращения Р1, блока датчиков тока и напряжения А6 и блока ввода/вывода цифровых сигналов А8.

- Включите выключатель «СЕТЬ» тиристорного преобразователя/регулятора А3.

- Задайте автоматический режим управления преобразователем А3, для чего нажмите кнопку «УПРАВЛЕНИЕ» на его лицевой панели.

- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А6.

- Запустите программу «Реверсивный преобразователь – двигатель постоянного тока».

- Нажмите на виртуальную кнопку «Параметры»  и задайте параметры управления электроприводом.

Первоначально используйте уставки по умолчанию, нажав виртуальную кнопку «Использовать уставки по умолчанию».

- Запустите сбор данных, нажав кнопку «Запустить» .

- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.

- Нажмите кнопку «РЕВЕРСИВНЫЙ 3Ф ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ» на лицевой панели преобразователя А3 и удерживайте ее до тех пор, пока не загорится расположенный рядом с ней светодиод.

- Нажмите виртуальную кнопку «ПУСК».

- Вращая виртуальную регулировочную рукоятку, установите задание скорости вращения двигателя М1, например 157 рад/с. Электродвигатель М1 должен разогнаться.

## **1. Определение координат и параметров электропривода в статическом режиме**

*Следующие эксперименты проделать для параметров различных параметров регулятора (исходные коэффициенты П,И,Д составляющих и измененные на +/- 30%)*

- Частоту вращения  $n$  [мин<sup>-1</sup>] двигателя измеряйте с помощью указателя Р1.

- Ток  $I_a$  [А] и напряжение  $U_a$  [В] якоря двигателя М1 измеряйте мультиметрами блока Р2.

### 1.1. Определение статической механической характеристики системы

- Включите выключатель «СЕТЬ» и нажмите кнопку «ВКЛ.» возбудителя G3.

- Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, изменяйте ток якоря  $I_a$  (до 1 А) двигателя М1 и заносите показания соответствующего амперметра и вольтметра блока Р2, а также указателя Р1 в таблицу 3.2.1.

Таблица 3.2.1.

$I_a, A$									
$U_a, B$									
$n, \text{мин}^{-1}$									

- Наблюдайте механическую характеристику двигателя М1 на экране монитора компьютера.

- Используя данные табл. 3.2.1. после завершения эксперимента вычислите значения угловой частоты вращения  $\omega$  двигателя М1 по

выражению  $\omega = \frac{2\pi n}{60}$  и его электромагнитного момента М по формуле

$M = \frac{3 \cdot P - 3 \cdot I^2 \cdot r}{\omega_0}$ , и занесите полученные результаты в таблицу 3.2.2.

Таблица 3.2.2.

$M, \text{Н} \cdot \text{м}$									
$\omega, \text{с}^{-1}$									

- Используя данные табл. 3.2.2, после завершения эксперимента постройте в виде графика механическую характеристику  $\omega = f(M)$  двигателя М1.

### 1.2. Регулирование скорости и направления вращения двигателя изменением напряжения якоря

- Вращая регулировочную рукоятку возбуждателя G3, установите ток якоря двигателя M1 равным, например, 0,5 А и поддерживайте его в ходе эксперимента.

- Вращая виртуальную регулировочную рукоятку, изменяйте задание скорости вращения двигателя M1, в том числе с противоположным знаком, и заносите показания вольтметра блока P2 и указателя P1 в таблицу 3.2.3.

Таблица 3.2.3.

U <sub>a</sub> , В									
n, мин <sup>-1</sup>									

- Используя данные таблицы 3.2.3., после завершения эксперимента вычислите значения угловой скорости вращения  $\omega$  двигателя M1 по выражению (1.1.1.) и занесите полученные результаты в таблицу 3.2.4.

Таблица 3.2.4.

U <sub>a</sub> , В									
$\omega$ , с <sup>-1</sup>									

- Используя данные табл. 3.2.4, после завершения эксперимента постройте в виде графика зависимость  $\omega = f(U_a)$ .


## **2. Определение координат и параметров и электропривода в переходном режиме**

- Вращая виртуальную регулировочную рукоятку, установите задание скорости вращения двигателя M1, например 157 рад/с.

- Вращая регулировочную рукоятку возбуждателя G3, установите ток якоря двигателя M1 равным, например, 0,5 А.

- Организуйте переходный процесс, например, сброс-наброс нагрузки двигателя M1. Для чего нажмите кнопку «ОТКЛ.» и спустя 5 с – кнопку «ВКЛ.» возбуждателя G3.



- Наблюдайте на экране компьютера изменение координат и параметров электропривода в реальном времени.

- Сразу после завершения переходного процесса нажмите виртуальную кнопку «Остановить»  и анализируйте запомненные временные зависимости координат и параметров электропривода.

- По завершении экспериментов отключите задействованные в нем блоки.



## **Рекомендации по использованию программ «Реверсивный тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока»**

- Задавайте значение ограничения тока якоря двигателя М1 вращением соответствующей рукоятки.
- Для определения координат точек на графиках используйте отображаемые на экране текущие координаты указателя мыши.
- Масштабирование производите путем нажатия на графике левой клавиши мыши и, не отпуская ее, перемещения манипулятора слева направо и сверху вниз. Возврат к начальному масштабу осуществляйте обратным перемещением манипулятора – справа налево и снизу вверх.
- Графики относительно осей координат двигайте путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.
- Очищайте область построения механической характеристики нажатием на соответствующую виртуальную кнопку  или клавишу «Пробел».
- Изменяйте коэффициенты усиления ПИД-регулятора, а также интенсивность изменения уставки скорости вращения, варьируя соответствующие параметры на закладке «Управление» в окне «Параметры».
- Окно «Параметры» отображайте нажатием на виртуальную кнопку на экране - .

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется каждым студентом индивидуально и содержит:

- Цель работы
- Схему исследуемой системы.
- Название и содержание экспериментов
- Результаты в виде таблиц, временных и параметрических зависимостей.
- Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы.**

- Какие способы управления тиристорными силовыми группами используются в преобразователях?

- Основные возмущения, действующие на систему ТП-Д.
- Структурная схема исследуемой ЭМС.
- Статические характеристики исследуемой ЭМС.
- Динамические характеристики исследуемой ЭМС.

### **Литература**

1. Ильинский Н.Ф. Общий курс электропривода / Н.Ф. Ильинский, МЭИ –М,2007.-224с.-ISBN-978-5-383-00001-4/
2. Алексеев К.Б. Электромеханические системы /К.Б. Алексеев, Моск. гос. индустр. ун-т. –М, 2008.-144с. –ISBN 978-5-2760-1179-0.
3. Воробьев В.Е. Основы электромеханики / В.Е. Воробьев, Сев.западн. заочн. техн. ун-т.- СПб,2003-79с.

**Лабораторная работа №4**  
**Исследование электромеханической системы**  
**«Преобразователь частоты - асинхронный двигатель с**  
**короткозамкнутым ротором»**

В настоящей работе исследуется замкнутая электромеханическая система управления асинхронным двигателем переменного тока с частотным преобразователем.

Цель работы.

Исследование статических и динамических характеристик ЭМС «асинхронный двигатель – частотный преобразователь».

Программа работы.

1. Измерение координат электропривода в статическом режиме
2. Определение статической механической характеристики двигателя
3. Регулирование скорости вращения двигателя согласованным изменением частоты и величины напряжения статора
4. Определение координат и параметров электропривода в переходном режиме.

**Описание электрической схемы соединений**

Схема соединений лабораторного оборудования для проведения экспериментов представлена на рис.4 -1 (рис.4.1-а – силовая часть, рис.4.1-б – информационная). Перечень оборудования, применяемого при проведении лабораторной работы, приведен в таблице 4.0.

Источник G1 – источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для питания регулируемым напряжением обмоток машины постоянного тока G3 с параллельным возбуждением, работающей в режиме тормоза.

Преобразователь угловых перемещений G4 генерирует импульсы, поступающие на вход указателя частоты вращения P1 электромашинного агрегата.

Преобразователь частоты G5 служит для получения регулируемого трехфазного напряжения для питания двигателя M1.

Датчики тока и напряжения блока A1 гальванически изолируют от силовой электрической цепи и нормирует сигналы о токе и напряжении

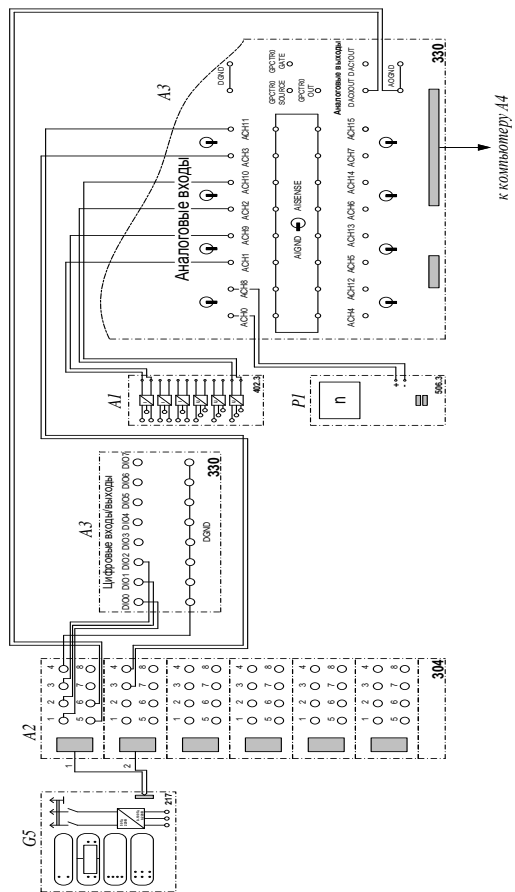
фазы «А» двигателя М1.

Терминал А4 служит для разветвления на отдельные проводники кабеля, подключенного к преобразователю частоты G5.

Коннектор А3 выполняет функцию связующего звена между компьютером А4 и блоком измерительных трансформаторов А1.

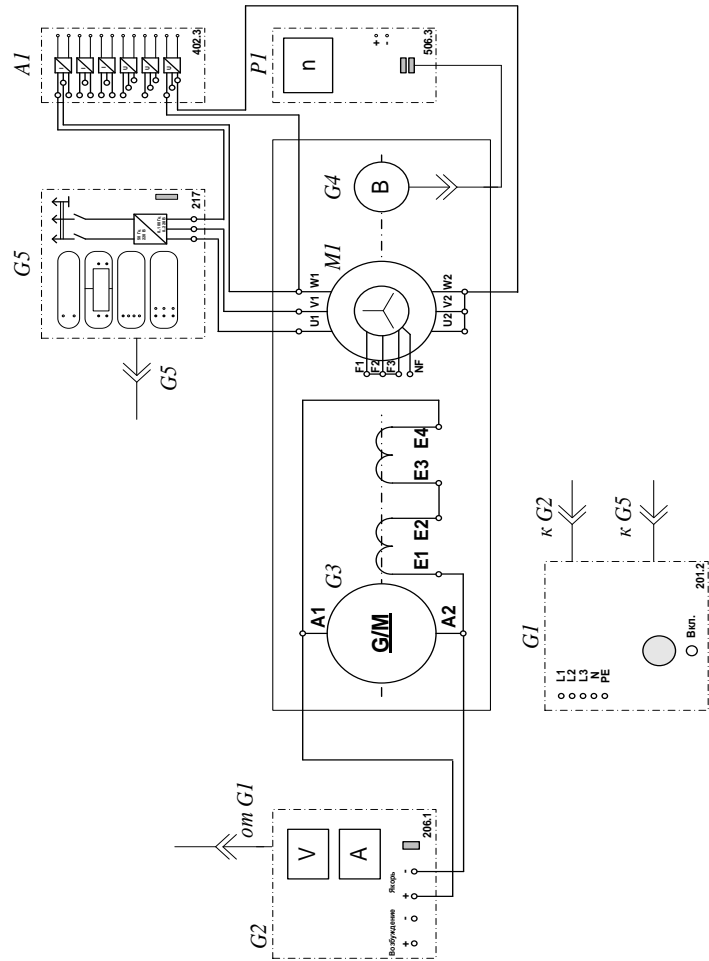
Блок А4 выполняет функцию усилителя цифровых сигналов.

Компьютер А5 используется в режиме информационно-измерительной системы и в качестве устройства управления преобразователем частоты G5.



б.

Рис. 4.1



a.

## Перечень аппаратуры


Таблица 4.0


Обозн.	Наименование	Тип	Параметры
A1	Блок датчиков тока и напряжения	402.3	3 изм. преобразователя «ток – напряжение» 5 А/1 А/5 В; 3 изм. преобразователя «напряжение – напряжение» 1000 В/100 В/5 В
A2	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд
A3	Коннектор	330	8 аналог. дифф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/выходов
A4	Персональный компьютер	550	IBM-совместимый плата сбора информации PCI 6024E
G1	Трехфазный источник питания	201.2	400 В ~; 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	0...250 В – 3 А (якорь) 200 В –; 1 А (возбуждение)
G3	Машина постоянного тока	101.1	90 Вт; 220 В 0,76 А (якорь) 220 В (возбуждение)
G4	Преобразователь угловых перемещений	104	6 выходных сигналов
G5	Преобразователь частоты	217	0...100 Гц 3×0...220 В; 3 А
M1	Машина переменного тока	102.1	50 Вт; 230 В ~; 1500 мин <sup>-1</sup>
P1	Указатель частоты вращения	506.3	2000...0...2000 мин <sup>-1</sup>

## Указания по проведению экспериментов

- Перед началом экспериментов ознакомьтесь с инструкцией, изучите программу работ и план экспериментов.
- Ознакомьтесь с особенностями работы с аппаратно- программным комплексом (Приложения 1 и 2).
- Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (стр. 51).
- Соедините гнезда защитного заземления " $\oplus$ " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
- Переключатель режима работы источника G2 установите в положение «РУЧН.».
- Регулировочные рукоятки источника G2 и преобразователя частоты G5 поверните против часовой стрелки до упора.
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Включите выключатели «СЕТЬ» блока А1 датчиков тока и напряжения и указателя Р1 частоты вращения.
- Включите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты G5. Кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» выберите режим работы «Эксперимент №1: Исследование режимов работы асинхронного двигателя».
- Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ ИЗМЕНЯЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ», далее кнопками «ВЫБОР СТРОКИ / СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ» и «ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА» выберите следующие значения параметров: U номинальное – 220 В, тип характеристики – линейная, выход 1 – скорость, выход 2 – скорость, управление – автоматическое.
- Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» выберите «МАССИВ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ».
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер А5. Запустите программу «Автоматическое управление частотным приводом».



- Нажмите на виртуальную кнопку «Параметры»  и задайте параметры управления электроприводом и записи процессов. Например, используйте уставки по умолчанию, нажав виртуальную кнопку «Использовать уставки по умолчанию».

- Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» . На экране появится панель виртуальных приборов.

- Нажмите на виртуальную кнопку «ВПЕРЕД». Расположенная рядом с кнопкой виртуальная лампочка, а также соответствующий светодиод преобразователя частоты G5 должны загореться.

- Вращая виртуальную регулировочную рукоятку, установите задание скорости вращения двигателя, например 150 рад/с. Электродвигатель M1 должен разогнаться.

### **1. Измерение координат электропривода в статическом режиме**


*Следующие эксперименты проделать для различных значений параметров регулятора (исходные коэффициенты P, I, D составляющих и измененные на +/- 30%)*

- Частоту вращения  $n$  [мин<sup>-1</sup>] двигателя M1 измеряйте с помощью указателя P1. Угловую скорость вращения  $\omega$  [рад/с] двигателя M1 измеряйте с помощью виртуального прибора на экране компьютера.

- Электромагнитный момент  $M$  [Н·м] двигателя M1 измеряйте виртуальным прибором на экране компьютера.

- Ток двигателя  $I$  [А] измеряйте виртуальным амперметром на экране компьютера.

#### **1.1 Определение статической механической характеристики системы**

- Нажмите виртуальную кнопку «Остановить» .

- Задайте следующие параметры ПИД-регулятора:  $P=0,03$ ,  $I=0$ ,  $D=0$  (П-регулятор).

- Нажмите виртуальную кнопку «Запустить» .

- Включите выключатель «СЕТЬ» и нажмите кнопку «ВКЛ.» источника G2.

- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, изменяйте ток на его выходе «ЯКОРЬ» в диапазоне 0...1,5 А.

- Измеряйте значения угловой скорости  $\omega$  и электромагнитного момента  $M$  двигателя M1 и заносите их в табл. 3.3.1.

Таблица 4.1.1

$\omega$ , рад/с									
M, Нм									

## 1.2 Регулирование скорости вращения двигателя согласованным изменением частоты и величины напряжения статора

- Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите ток на его выходе «ЯКОРЬ» равным 0,5 А.
- Вращая виртуальную регулировочную рукоятку, изменяйте задание скорости  $\omega_3$  вращения двигателя M1 в диапазоне 0..170 рад/с и заносите значения скорости  $\omega$  вращения двигателя M1 в таблицу 3.3.2.

Таблица 4.1.2

$\omega_3$ , рад/с									
$\omega$ , рад/с									

## 2. Определение координат и параметров электропривода в переходном режиме

- Установите задание скорости вращения двигателя M1 150 рад/с.
- Установите значение тока регулируемого выхода «ЯКОРЬ» источника G2 равное, например, 0,7 А.
- Спустя время записи процесса  $t_{\text{записи}}$  (по умолчанию – 20 с) организуйте интересующий переходный процесс, например, сброс-наброс нагрузки двигателя M1. Для чего нажмите кнопку «ОТКЛ.» и спустя 5 с – кнопку «ВКЛ.» источника G2.
- Спустя время, рассчитываемое по формуле

$$t = \frac{t_{\text{записи}} - t_{\text{п.п.}}}{2},$$

где  $t_{\text{п.п.}}$  - предполагаемое время переходного процесса, остановите сбор данных, нажав виртуальную кнопку «Остановить» **II**. Например, для времен  $t_{\text{записи}} = 20$  с и  $t_{\text{п.п.}} = 5$  с, время  $t$  составит 7,5 с.

- Анализируйте отображенные на экране компьютера зависимости от времени частоты вращения, тока и электромагнитного момента двигателя, а также его механическую характеристику.

- По завершении эксперимента отключите задействованные в нем блоки.

- По данным табл. 4.1.1. постройте механическую характеристику  $\omega = f(M)$  системы.


- По данным табл. 4.12. постройте характеристику  $\omega = f(\omega_3)$  системы.

### ***Рекомендации по использованию программы «Автоматическое управление частотным приводом»***

- Для определения координат точек на графиках используйте отображаемые на экране текущие координаты указателя мыши.


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

- Графики относительно осей координат двигайте путем нажатия и удержания на соответствующем объекте правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.

- Очищайте область построения механической характеристики нажатием на соответствующую виртуальную кнопку  или клавишу «Пробел».

- Время записи переходного процесса по умолчанию – 20 с. Увеличивайте его, варьируя соответствующий параметр на закладке «Запись процессов» в окне «Параметры».

- Изменяйте коэффициенты усиления ПИД-регулятора, а также интенсивность изменения уставки скорости вращения, варьируя соответствующие параметры на закладке «Управление» в окне «Параметры»

- Окно «Параметры» отображайте нажатием на виртуальную кнопку .

### **Содержание отчета**

Отчет оформляется каждым студентом индивидуально и содержит:

- Цель работы
- Схему исследуемой системы.

- Название и содержание экспериментов
- Результаты в виде таблиц, временных и параметрических зависимостей.
- Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы.**

- Какие способы управления асинхронными машинами используются в ЭМС?
- Что такое «векторное управление» АД?
- Основные возмущения, действующие на систему ПЧ-АД.
- Структурная схема исследуемой ЭМС.
- Статические характеристики исследуемой ЭМС.
- Динамические характеристики исследуемой ЭМС.

### **Литература**

1. Ильинский Н.Ф. Общий курс электропривода / Н.Ф. Ильинский, МЭИ –М, 2007.-224с.-ISBN-978-5-383-00001-4/
2. Алексеев К.Б. Электромеханические системы /К.Б. Алексеев, Моск. гос. индустр. ун-т. –М, 2008.-144с. –ISBN 978-5-2760-1179-0.
3. Воробьев В.Е. Основы электромеханики / В.Е. Воробьев, Сев.западн. заочн. техн. ун-т.- СПб, 2003-79с.

#### 4. Приложение 1.

### Описание и технические характеристики электромашинного агрегата

Электромашинный агрегат предназначен для электромеханического преобразования энергии постоянного или переменного тока, получения сигналов, определяющих частоту вращения и угловое положение подвижных частей агрегата. Он включает сочлененные между собой и установленные на едином основании машину постоянного тока, машину переменного тока, маховик и преобразователь угловых перемещений.

Концы обмоток машин выведены через гнезда на терминальные панели, прикрепленные к их корпусам.

#### Комплект электромеханических преобразователей

Таблица П.1

<b><u>Машина постоянного тока (тип 101.2)</u></b>	
Номинальная мощность, Вт	90
Номинальное напряжение якоря, В	220
Номинальный ток якоря, А	0,56
Номинальная частота вращения, мин <sup>-1</sup>	1500
Возбуждение	Независимое /параллельное/ последовательное
Номинальное напряжение возбуждения, В	220
Номинальный ток обмотки возбуждения, А	0,2
КПД, %	57,2
Направление вращения	любое
Режим работы	двигательный/генераторный
<b><u>Машина переменного тока (тип 102.1)</u></b>	
Число фаз на статоре	3
Число фаз на роторе	3
<b><i>Как синхронная машина</i></b>	
Номинальная активная мощность, Вт	100
Номинальное напряжение, В	230
Схема соединения обмоток статора	Y
cos φ <sub>н</sub>	1
Номинальный ток статора, А	0,26
Ток возбуждения холостого хода, А	1,6
Номинальное напряжение возбуждения, В	22
Номинальный ток возбуждения, А	1,85
Направление вращения	любое
Номинальная частота вращения, мин <sup>-1</sup>	1500

<b>Как асинхронная машина</b>	
Частота тока, Гц	50
Номинальная полезная активная мощность, Вт	30
Номинальное напряжение, В	127
Схема соединения обмотки статора	Y
Схема соединения обмотки ротора	Y
Номинальный ток статора, А	0,35
КПД, %	36
cos φ <sub>н</sub>	0,73
Номинальная частота вращения, мин <sup>-1</sup>	1250
<b>Маховик</b>	
Момент инерции, н·м·с <sup>2</sup>	0,032
Масса, кг, не более	7
<b><u>Преобразователь угловых перемещений (тип 104)</u></b>	
Модель	BE 178A
Количество выходных каналов	6
Выходные сигналы	серия импульсов и опорный импульс
Число импульсов за оборот в серии	2500
Диапазон изменения рабочих частот вращения вала, мин <sup>-1</sup>	0..6000

### Описание и технические характеристики функциональных блоков

Таблица П.2

Наименование и описание	Параметры	Код	Ширина, мм
1	2	3	4
<p><b><u>Трехфазный источник питания</u></b>  Предназначен для питания комплекта трехфазным переменным напряжением. Включается вручную. Имеет защиту от перегрузок, устройство защитного отключения, кнопку аварийного отключения и ключ от несанкционированного включения.</p>	400 В ~; 16 А Ток срабатывания УЗО – 30 mA	201.2	285
<p><b><u>Источник питания машины постоянного тока</u></b>  Предназначен для питания обмоток якоря и возбуждения постоянным током. Включается вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Якорное напряжение регулируется</p>	Цепь якоря 0...250 В –; 3 А Цепь возбуждения 200 В –; 1 А	206.1	285

вручную или дистанционно. Напряжение возбуждения нерегулируемое.			
1	2	3	4
<p><b><u>Тиристорный преобразователь / регулятор</u></b></p> <p>Предназначен для регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока (режим преобразователя) и трехфазного асинхронного двигателя (режим регулятора). Преобразует трехфазное напряжение синусоидального тока в напряжение постоянного тока, а также в трехфазное напряжение переменной величины. Выходное напряжение регулируется вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ).</p>	3×400 В ~; 2 А	207.2	285
<p><b><u>Возбудитель машины переменного тока</u></b></p> <p>Предназначен для питания обмотки возбуждения синхронной машины. Включается вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ). Напряжение возбуждения регулируется вручную или дистанционно / автоматически. Выходные цепи изолированы от входных.</p>	0...40 В –; 3,5 А	209.2	285
<p><b><u>Преобразователь частоты</u></b></p> <p>Предназначен для регулирования частоты вращения асинхронного двигателя. Выходные частота и напряжение регулируются согласованно вручную или дистанционно / автоматически (от ПЭВМ).</p>	3×0...230 В; 3 А; 0...100 Гц	21 7	285
<p><b><u>Трехполюсный выключатель</u></b></p> <p>Предназначен для ручного или дистанционного / автоматического (от ПЭВМ) включения / отключения электрических цепей.</p>	400 В ~; 10 А	301.1	95
<p><b><u>Терминал</u></b></p> <p>Предназначен для обеспечения удобного доступа к входам / выходам управления функциональных блоков.</p>	6 розеток с 8 контактами; 6×8 гнезд	30 4	95
<p><b><u>Активная нагрузка</u></b></p> <p>Предназначена для моделирования однофазных и трехфазных потребителей активной энергии. Регулируется вручную.</p>	3×0...50 Вт; 220/380 В	306.1	285
<p><b><u>Реостат для цепи ротора машины переменного тока</u></b></p> <p>Предназначен для ручного регулирования тока в обмотке ротора машины переменного тока.</p>	3×0...40 Ом; 1 А	307.1	285

<b><u>Реостат возбуждения машины постоянного тока</u></b> Предназначен для ручного регулирования тока возбуждения машины постоянного тока.	0...2000 Ом; 0,1...0,3 А	308.1	285
<b><u>Линейный реактор</u></b> Предназначен для моделирования индуктивного сопротивления электрической цепи.	50Гц; 0,5 А; 0,3 Гн	314.2	95
<b><u>1</u></b>	2	3	4
<b><u>Выпрямитель</u></b> Предназначен для неуправляемого преобразования энергии трехфазного переменного тока в энергию постоянного тока.	400 В; 10 А	32 2	95
<b><u>Реостат</u></b> Предназначен для ограничения пускового тока в цепи якоря двигателя постоянного тока.	0...200 Ом; 0,8 А	323.2	285
<b><u>Трехфазная трансформаторная группа</u></b> Предназначена для преобразования однофазного / трехфазного напряжения.	3×80 В·А; 230 /240,230, 220, 133, 127 В	347.1	285
<b><u>Коннектор</u></b> Предназначен для обеспечения удобного доступа к входам / выходам платы сбора данных PCI 6024E персонального компьютера.	8 аналог. диф. входов; 2 аналог. выхода; 8 цифр. входов/ выходов	33 0	285
<b><u>Блок ввода /вывода цифровых сигналов</u></b> Предназначен для ввода сигналов типа «сухой контакт» и вывода сигналов через контакты промежуточного реле	8 входов типа «сухой контакт»; 8 релейных выходов	33 1	95
<b><u>Блок датчиков тока и напряжения</u></b> Предназначен для получения нормированных электрических сигналов, пропорциональных напряжениям и токам в контролируемых силовых цепях постоянного и переменного тока, и гальванически с последними не связанных.	3 измерительных преобр. «ток – напряжение» (5 А/1 А)/5 В; 3 измерительных преобр. «напряжение - напряжение» (1000 В/100 В) /5 В	402.3	142,5
<b><u>Блок мультиметров</u></b>	0...1000 В $\approx$ ; 0...10 А $\approx$ ;	508.2	285



<p>Предназначен для измерения токов, напряжений, омических сопротивлений. Цифровой с жидкокристаллическим дисплеем.</p>	0...20 МОм		
<p><u>Указатель угла нагрузки синхронной машины</u></p> <p>Предназначен для измерения и отображения в аналоговой форме угла нагрузки синхронной машины. Имеет выходные гнезда для подключения к ПЭВМ.</p>	-180°...0...180 °	505.2	142,5
<p><u>Указатель частоты вращения</u></p> <p>Предназначен для отображения частоты вращения электрических машин в электромашинном агрегате в аналоговой форме.</p>	2000...0...2000 мин <sup>-1</sup>	506.2	142,5
<p><u>Измеритель мощностей</u></p> <p>Предназначен для измерения активной и реактивной мощностей в однофазной электрической цепи и отображения их в аналоговой форме.</p>	15; 60; 150; 300; 600 В, 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А	507.2	285
<p><u>Персональный компьютер</u></p> <p>Предназначен для дистанционного / автоматического управления лабораторным комплексом и отображения информации о нем.</p>	IBM-совместимый, плата сбора данных PCI 6024E	550	

## Электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока

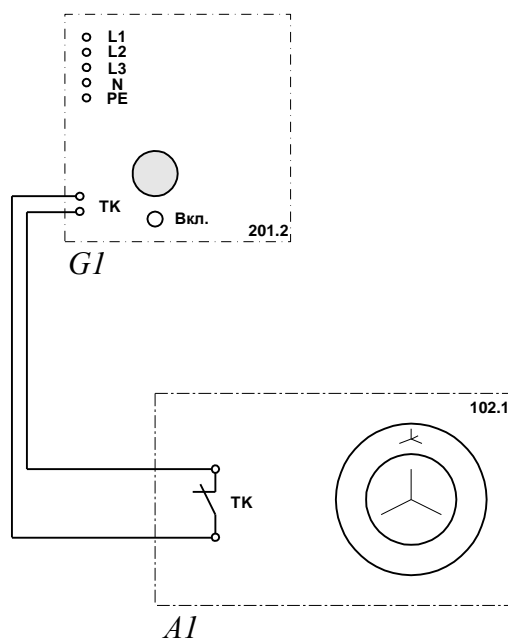


Рис. П-1

### Перечень аппаратуры

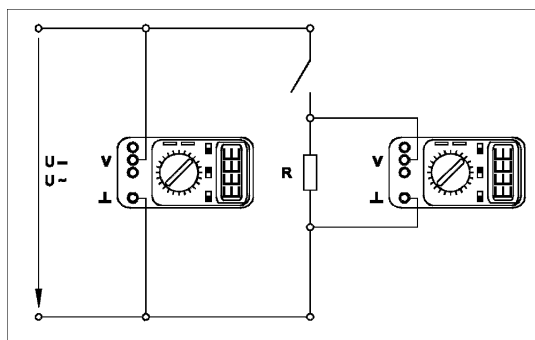
*Таблица П.2*

Обозн.	Наименование	Тип	Параметры
A1	Машина переменного тока	102.1	100 Вт / 230 В ~ / 1500 мин <sup>-1</sup>
G1	Трёхфазный источник питания	201.2	400 В ~ / 16 А

Подготовка и проведение измерений с помощью электронного мультиметра

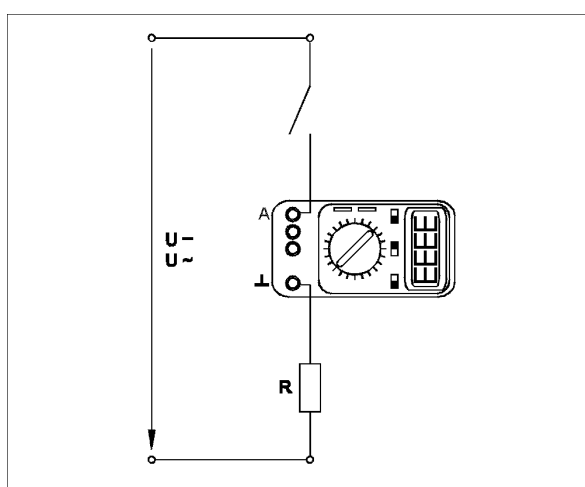
Для измерения трех базовых электрических величин (тока, напряжения и омического сопротивления) используется мультиметр. До его подключения к цепи необходимо выполнить следующие операции:

- установить род тока (постоянный/переменный);
- выбрать диапазон измерений соответственно ожидаемому результату измерений;
- правильно подсоединить зажимы мультиметра к измеряемой цепи (рис.П.2).



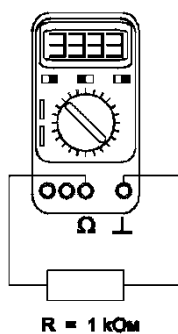
а.

*Присоединение мультиметра (как вольтметра) для измерения напряжения*



б.

*Присоединение мультиметра (как амперметра) для измерения тока*



в.

*Присоединение мультиметра (как омметра) для измерения омического сопротивления*

Рис. П-2

## **Порядок работы с оригинальными программными продуктами**

### ***Общие сведения***

В программное обеспечение учебного лабораторного комплекса «Электрический привод» входят одиннадцать программных продуктов – «Многоканальный осциллограф», «Регистратор режимных параметров машины постоянного тока», «Регистратор режимных параметров машины переменного тока», «Регистратор режимных параметров частотного привода» и семь узкоспециализированных программ для проведения экспериментов 2.1 – 3.3 настоящего Руководства.

### ***Описание работы с программой «Многоканальный осциллограф»***

Программа «Многоканальный осциллограф» является виртуальным аналогом реальных приборов и обладает широкими функциональными возможностями. Программа предназначена для регистрации и отображения различных аналоговых сигналов в удобной для пользователя форме. Программа «Многоканальный осциллограф» является универсальной и может использоваться совместно со многими лабораторными комплексами. «Осциллограф» имеет четыре одинаковых канала, каждый из которых может быть сопоставлен с любым физическим каналом аналогового ввода платы. Каналы платы должны быть настроены на дифференциальный режим работы.

Каждый из каналов осциллографа может быть включен или выключен, иметь свой собственный коэффициент деления, быть «прямым» или «инверсным», иметь «открытый» или «закрытый» вход (т.е. сохранять или отрезать постоянную составляющую сигнала). Кроме того, сигнал любого канала можно «сгладить» (применяется для наблюдения зашумленных сигналов), отобразить определенным цветом, сдвинуть по вертикали.

Имеется два способа синхронизации картинки на экране осциллографа. Первый из них, «50 Гц» применяется для наблюдения сигналов, частота которых кратна 50 Гц. В этом режиме частоту синхронизации можно менять в небольших пределах, нажимая на кнопки с красными стрелками. Нажатием на правую стрелку можно заставить «бежать» картинку вправо, нажатием на левую – влево.

Второй способ синхронизации – классическая синхронизация по какому-либо каналу. Здесь можно выбрать номер канала, по которому

будет производиться синхронизация, а также уровень синхронизирующего напряжения.

По оси времени картинку на экране осциллографа можно растянуть или сжать, задавая тот или иной масштаб по горизонтали, а также сдвинуть вправо или влево соответствующим движком.

Осциллограф может работать также в режиме XY. В этом случае можно задать номера каналов, сопоставленных с осями X и Y, а также цвет отображаемой линии.

В любой момент сканирование аналоговых каналов можно остановить. При этом картинка на экране осциллографа «заморозится». Полученные осциллограммы можно теперь также, как и до «замораживания» масштабировать, менять цвета линий и пр.

Осциллограф можно использовать в режиме запоминания, для чего в окне «Параметры» должна быть поставлена соответствующая галочка. В этом случае программа во время сканирования будет непрерывно сохранять данные в циклический буфер. Его содержимое можно отобразить *после остановки сканирования*. Существует возможность изменять порядок отображения запомненных кривых.

Осциллограф может вычислять интегральные значения принимаемых сигналов. Для включения этого режима нужно нажать соответствующую кнопку.

Программа позволяет сохранять осциллограммы в файлы. Сохранение может быть произведено двумя способами – в текстовый файл или в файл собственного формата \*.osc. В первом случае в созданном файле будет находиться таблица значений точек каналов, которую можно затем экспортировать в Excel. Во втором случае в сохраненном файле будет содержаться информация об осциллограммах, о положениях органов управления и пр. Сохраненный файл можно снова загрузить в «Осциллограф» и выполнять все те же действия, что и с «замороженной» осциллограммой.

Расширение \*.osc регистрируется в Windows при установке программы либо путем вызова соответствующего пункта меню.

«Многоканальный осциллограф» может гибко настраиваться на определенную скорость сканирования и нужное быстродействие. При установке параметров сканирования можно исходить из следующих соображений.

*Частота сканирования* должна находиться в пределах 1000 – 50000 герц. Если необходимо рассмотреть мелкие (короткие по времени) подробности сигнала (например, интервалы коммутации тиристоров в

схемах силовой электроники), то частоту сканирования целесообразно задавать относительно высокую, если же форма сигнала не слишком интересна (например, заведомо известно, что сигналы – синусоиды), то частоту сканирования можно задать относительно низкую. Необходимо иметь в виду, что при установке высокой частоты сканирования быстродействие программы снижается, поэтому иногда целесообразно оставлять включенным лишь один канал.

*Частоту обновления осциллограмм* следует устанавливать в пределах 5...50 Гц. При этом необходимо иметь в виду, что если частота сканирования, деленная на частоту обновления осциллограмм, не кратна 50 Гц, то режим синхронизации «50 Гц» работать не будет. Также нужно учитывать, что чем выше частота обновления осциллограмм, тем быстрее реагирует осциллограф на изменение режима схемы; тем меньший по длине отрезок времени отображается на экране; тем сильнее нагружается система. Верно и обратное утверждение.

На графиках осциллографа отображается каждая  $N$ -я точка. *Число  $N$*  задается в пределах от 1 до 10. Чем выше  $N$ , тем менее подробно строятся графики и тем меньше загружается система. Верно и обратное утверждение.

Опцию «*Запоминать последние  $N$  секунд процесса*» следует устанавливать в диапазоне 1...20 с. Опцию «*Отображать каждую  $N$ -ную точку*» (на вкладке «Запоминание») - в диапазоне 1...10 с. Чем больше время запоминания, тем больше используется оперативная память компьютера и тем дольше отображается записанный в память процесс. Чем больше число  $N$ , тем менее подробно и более быстро происходит отображение. Верны и обратные утверждения.

Для некоторого увеличения общего быстродействия программы рекомендуется отключать режим запоминания.

Ниже перечислены неочевидные возможности интерфейса программы, а также некоторые замечания.

- Двойным щелчком мыши можно устанавливать в ноль регуляторы смещения картинки по горизонтали и по вертикали.
- Щелчок мыши на осях графика вызывает окно настройки соответствующей оси.
- В этом окне, помимо всего прочего, можно включить или отключить отображение нулевых линий.
- 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 нем правой кнопки мыши и ее одновременного перемещения в нужную сторону.

- Для удобства определения значений величин на экране отображаются текущие координаты указателя мыши.

- Регулятор уровня синхронизации проградуирован *в единицах графика*.

- Делители напряжения каналов и временной делитель проградуированы по отношению *к одной единице* графика (например, положение 500 мВ означает, что одна единица (не клетка!) графика соответствует 500 мВ).

- Параметры сканирования по умолчанию можно установить, выбрав соответствующий пункт меню «Настройка».

- Аналогичным образом можно зарегистрировать расширение «\*.osc».

- Аналогичным образом можно вернуть все органы управления в исходное положение.

- Цвет того или иного графика можно выбрать, щелкнув «мышкой» по соответствующей кнопке выбора цвета.

- Отображение интегральных (средних, действующих, средневыпрямленных, максимальных, минимальных, амплитудных) значений сигналов можно включить, нажав на соответствующую кнопку.

- В режиме запоминания осциллограммы можно сглаживать, причем существуют два режима сглаживания - обычное, предназначенное для сглаживания случайных помех, и сильное (x10), предназначенное для сглаживания частот, сравнимых с 50 Гц. Следует, однако, всегда понимать, что *любое сглаживание в общем случае искажает форму снятых зависимостей*.

- В режиме запоминания можно также менять порядок отображения графиков (т.е. вывести какую-либо кривую поверх остальных).

***Описание работы с программами «Регистратор режимных параметров машины постоянного тока», «Регистратор режимных***

## ***параметров машины переменного тока» и «Регистратор режимных параметров частотного привода»***

Программы-регистраторы предназначены для регистрации и отображения специфических параметров электрических машин в удобной для пользователя форме. Программы не имеют практически никаких настроек и обладают простым, удобным и интуитивно понятным интерфейсом.

Необходимым условием правильной работы программ является правильное подключение к коннектору (код 330) аналоговых сигналов. Для удобства пользования, кроме схем данного руководства краткая информация по подключению сигналов имеется в самих программах.

Кроме того, для машины постоянного тока необходимо правильно задавать режим ее возбуждения.

Регистратор режимных параметров машины постоянного тока в реальном времени отображает зависимости от времени напряжения и тока якорной обмотки, частоты вращения и электромагнитного момента машины, а также – ее механическую характеристику (зависимость частоты вращения от электромагнитного момента).

Регистратор режимных параметров машины переменного тока в реальном времени отображает зависимости от времени тока статорной обмотки, частоты вращения и электромагнитного момента машины, а также – ее механическую характеристику (зависимость частоты вращения от электромагнитного момента).

Регистратор режимных параметров частотного привода в реальном времени отображает текущие значения тока двигателя, напряжения на нем, частоты вращения и крутящего момента, одновременно запоминая заранее заданный временной интервал этих параметров. После остановки регистратора запомненные параметры обрабатываются специальным алгоритмом (вейвлет анализа) и отображаются в виде временных зависимостей. Параметры обработки кривых и время запоминания можно изменять.