



**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования**  
«Башкирский государственный аграрный университет»

Приложение к ОПОП ВО

Лабораторный практикум

Кафедра электрических машин  
и электрооборудования

**Б1.В.ДВ.02.01 Автоматизированный электропривод**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Направление подготовки

**2.13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

Профиль подготовки

**Электроснабжение**

Квалификация (степень) выпускника

**Бакалавр**

Уфа 2018

Составитель: ст. преподаватель Валишин Д.Е.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры электрических машин и электрооборудования «25» октября 2018 г. (протокол №3).

Рекомендовано к опубликованию методической комиссией энергетического факультета «25» октября 2018 г. (протокол №3).

Ответственный за выпуск: И.О. зав. кафедрой электрических машин и электрооборудования канд. техн. наук, доцент Акчурин С.В.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1 Источник эдс - двигатель постоянного тока независимого, параллельного и последовательного возбуждения. Лабораторная работа № 1	5
2 Реверсивный тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока независимого возбуждения. Лабораторная работа № 2	19
3 Преобразователь частоты - асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Лабораторная работа № 3	28
4 Источник напряжения промышленной частоты – синхронный двигатель. Лабораторная работа № 4	36
5 Правила работы в учебной лаборатории	46
6 Требования к содержанию и оформлению отчета	47
Библиографический список	48

## **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторный практикум по дисциплине «Автоматизированный электропривод» предназначен для обучающихся очной и заочной форм обучения и призван способствовать освоению рабочей программы по указанной дисциплине.

Структура лабораторного практикума включает четыре раздела, каждый из которых отражает содержание соответствующей лабораторной работы.

Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию рабочей программы дисциплины Автоматизированный электропривод для направления Электроэнергетика и электротехника.

Содержание лабораторного практикума направлено на углубленное изучение обучающимися наиболее важных модулей теоретического курса и включает: цель работы, программу работы, краткие теоретические сведения, описание лабораторной установки, требования техники безопасности, порядок выполнения работы (последовательность действий с необходимыми методическими указаниями), требования к содержанию и оформлению отчета по работе, библиографический список.

Перед началом цикла лабораторных работ обучающиеся проходят первичный инструктаж по технике безопасности согласно требованиям. Перед началом каждой лабораторной работы обучающиеся проходят текущий инструктаж по технике безопасности, непосредственно на рабочем месте.

# 1 ИСТОЧНИК ЭДС - ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО, ПАРАЛЛЕЛЬНОГО и ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

## Лабораторная работа № 1

### 1 Цель работы

1.1 Изучение механических и скоростных характеристик двигателя постоянного тока независимого, параллельного и последовательного возбуждения.

1.2 Изучение и оценка способов регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока.

### 2 Программа работы

2.1 Ознакомление с работой, запись паспортных данных приборов.

2.2 Определение координат и параметров электропривода в статическом режиме.

2.3 Определение статической механической характеристики двигателя.

2.4 Регулирование скорости вращения двигателя изменением напряжения якоря.

2.5 Определение координат и параметров электропривода в переходном режиме.

2.6 Обработка полученных результатов.

### 3 Краткие теоретические сведения

Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения представлена на рисунке 1.1.

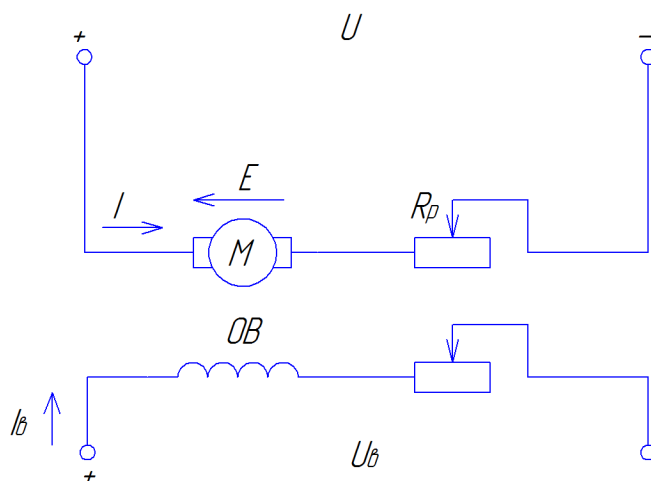


Рисунок 1.1 Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Якорь двигателя  $M$  и его обмотка возбуждения  $OB$  обычно получают питание от разных, независимых друг от друга источников (преобразователей) напряжения  $U$  и  $U_B$ , что позволяет отдельно регулировать напряжение на якоре двигателя и на обмотке возбуждения и выполнять их на разное номинальное напряжение. Лишь при наличии сети постоянного тока или при нерегулируемом преобразователе в якорной цепи обмотка возбуждения питается от того же источника напряжения, что и якорь двигателя (двигатель параллельного возбуждения). Но и в этом случае ток возбуждения  $I_B$  не зависит от тока  $I$  якоря двигателя.

Направления тока  $I$  и ЭДС вращения двигателя  $E$ , показанные на рисунке 1.1, соответствуют двигательному режиму работы, когда электрическая энергия потребляется двигателем из сети (от источника напряжения  $U$ ) и преобразуется в механическую энергию, мощность которой равна  $P = M\omega$ . Зависимость же между  $M$  и  $\omega$  двигателя определяется его механической характеристикой.

Аналитическое выражение механической характеристики двигателя может быть получено из уравнения равновесия напряжений, составленного для якорной цепи схемы (рисунок 1.1). При установившемся режиме работы двигателя приложенное напряжение  $U$  уравновешивается падением напряжения в якорной цепи  $IR$  и наведенной в якоре ЭДС вращения  $E$  т. е.

$$U = IR + E, \quad (1.1)$$

где  $I$  – ток в якорной цепи двигателя, А;

$R$  – суммарное сопротивление якорной цепи, Ом, включающее внешнее сопротивление резистора  $R_p$  и внутреннее сопротивление якоря двигателя  $R_j$  (при наличии дополнительных полюсов учитывается и их сопротивление).

$$E = k\Phi\omega, \quad (1.2)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от конструктивных данных двигателя,  $k = pN/2\pi a$  ( $p$  – число пар полюсов двигателя;  $N$  – число активных проводников обмотки якоря;  $a$  – число пар параллельных ветвей обмотки якоря);

$\Phi$  и  $\omega$  – соответственно магнитный поток, Вб, и угловая скорость двигателя, рад/с.

Если в (1.1) вместо  $E$  подставим ее значение из (1.2), то получим уравнение для скорости двигателя

$$\omega = (U - IR) / k\Phi, \quad (1.3)$$

Уравнение (1.3) представляет собой зависимость скорости двигателя от тока якоря. Такую зависимость  $\omega = f(I)$  называют электромеханической характеристикой двигателя.

Для получения уравнения механической характеристики необходимо найти зависимость скорости от момента двигателя. Это легко сделать, если учесть, что момент развиваемый двигателем, связан с током якоря и магнитным потоком простой зависимостью, а именно

$$M = k\Phi I. \quad (1.4)$$

Подставив в (3.3) значение тока  $I$ , найденное из (3.4), получим выражение для механической характеристики:

$$\omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{MR}{k^2\Phi^2}, \quad (1.5)$$

или

$$\omega = \frac{U}{c} - \frac{MR}{c^2}, \quad (1.6)$$

где

$$c = k\Phi. \quad (1.7)$$

Коэффициент  $c$  принимается постоянным, не зависящим от нагрузки, если у двигателя с независимым возбуждением имеется компенсационная обмотка. Он может считаться неизменным, если для обычных двигателей пренебречь реакцией якоря.

Механическая характеристика двигателя при неизменных параметрах  $U$ ,  $\Phi$  и  $R$  представляется прямой линией.

На рисунке 1.2 представлены механические характеристики двигателя независимого возбуждения для различных сопротивлений якорной цепи.

Как видно из (1.5), при  $M = 0$  все характеристики проходят через одну точку, лежащую на оси ординат. Угловая скорость в этой точке имеет вполне определенное значение, не зависящее от сопротивления якорной цепи. Эта скорость носит название скорости идеального холостого хода  $\omega_0$  и определяется выражением

$$\omega_0 = U/k\Phi \quad (1.8)$$

При скорости идеального холостого хода, когда ток в якорной цепи равен нулю, ЭДС якоря, направленная навстречу приложенному напряжению, равна ему по абсолютному значению. Если двигатель до приложения нагрузки работал с угловой скоростью  $\omega_0$ , то при появлении на его валу момента сопротивления угловая скорость будет снижаться. Следствием этого будет уменьшение ЭДС вращения  $E$  согласно (1.2) и увеличение тока якоря в соответствии с (1.1) и момента двигателя по (1.4). Угловая скорость будет снижаться до тех пор, по-

ка момент двигателя не сравняется с моментом сопротивления. Разность значений установившихся скоростей электропривода до и после приложения заданной статической нагрузки называется статическим падением (перепадом) скорости электропривода.

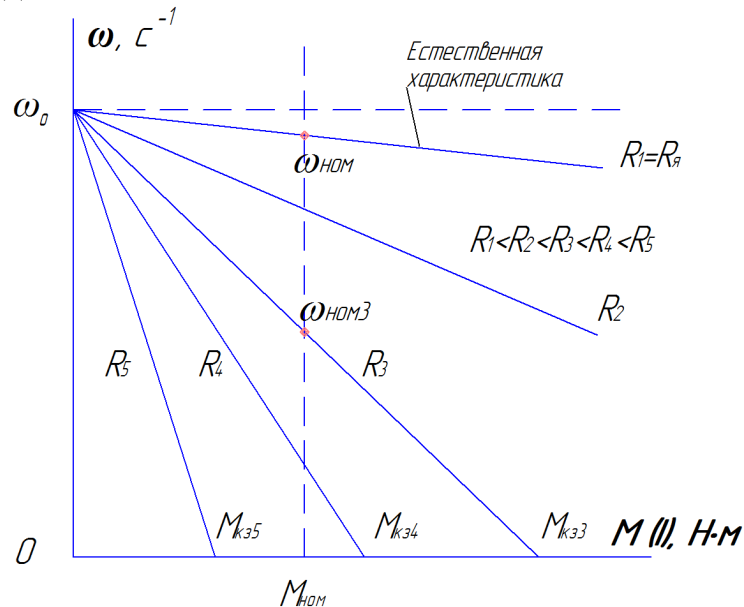


Рисунок 1.2 Естественная характеристика и семейство реостатных механических характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Уравнение электромеханической характеристики электродвигателя последовательного возбуждения, принципиальная схема включения которого представлена на рисунке 1.3, так же как и для двигателя независимого возбуждения, имеет вид:

$$\omega = (U - IR) / k\Phi,$$

где  $R$  – суммарное сопротивление якорной цепи, состоящее из сопротивления обмотки якоря, обмотки возбуждения и сопротивления внешнего резистора.

В отличие от двигателя независимого возбуждения здесь магнитный поток  $\Phi$  является функцией тока якоря  $I$ . Эта зависимость, приведенная на рисунке 1.4, носит название кривой намагничивания. Так как нет точного аналитического выражения для кривой намагничивания, то трудно дать и точное аналитическое выражение для механической характеристики двигателя последовательного возбуждения.

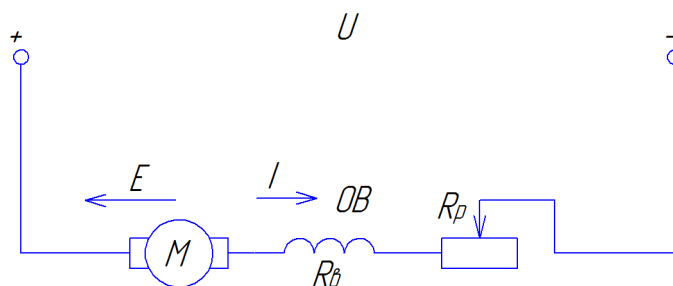


Рисунок 1.3 Схема включения двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

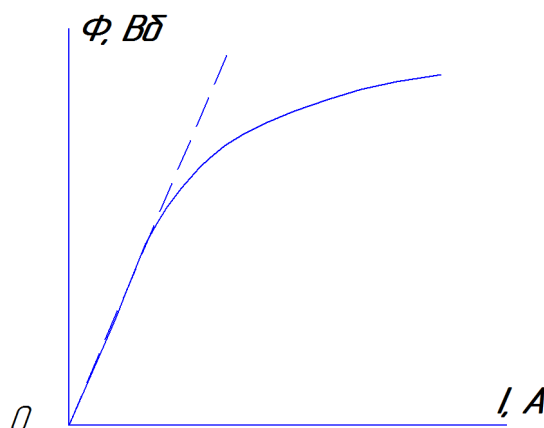


Рисунок 1.4 Кривая намагничивания двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

Если для упрощения анализа предположить, пренебрегая насыщением магнитной системы, линейную зависимость между потоком и током якоря, как это показано пунктиром на рисунке 1.4, т. е. считать  $\Phi = \alpha I$ , то момент двигателя

$$M = k\Phi I = \alpha k I^2, \tag{1.9}$$

Подставив в равенство для угловой скорости двигателя значение тока из (1.9), получим выражение для механической характеристики:

$$\omega = \frac{U}{\alpha k \sqrt{M/\alpha k}} - \frac{R}{\alpha k} = \frac{A}{\sqrt{M}} - B. \tag{1.10}$$

Отсюда следует, что при ненасыщенной магнитной цепи двигателя механическая характеристика изображается кривой (рисунок 1.5), для которой ось ординат является асимптотой.

Особенностью механической характеристики двигателя последовательного возбуждения является ее большая крутизна в области малых значений момента.

Значительное увеличение угловой скорости при малых нагрузках обусловливается соответствующим уменьшением магнитного потока.

Уравнение (1.10) дает лишь общее представление о механической характеристике двигателя последовательного возбуждения. При расчетах этим уравнением пользоваться нельзя, так как машин с ненасыщенной магнитной системой обычно в современной практике не строят. Вследствие того, что действительные механические характеристики сильно отличаются от кривой, выраженной уравнением (1.10), построение характеристик приходится вести графоаналитическими способами. Обычно построение искусственных характеристик производится на основании данных каталогов, где приводятся естественные характеристики:  $n = f(I)$  и  $M = \varphi(I)$ .

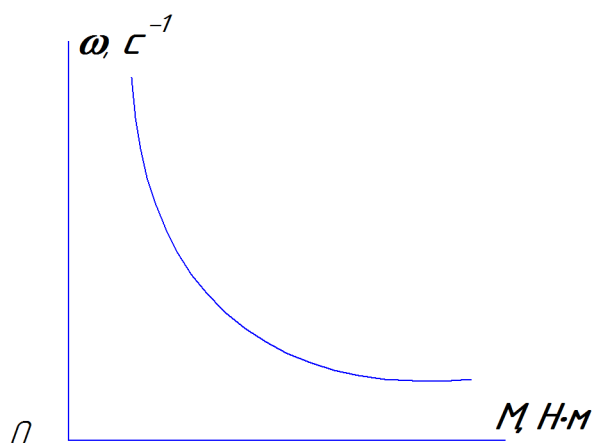


Рисунок 1.5 Естественная механическая характеристика двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

## 4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

### 4.1 Описание установки

На рисунках 1.6...1.8 приведены схемы лабораторного стенда для исследования ДПТ с различными схемами возбуждения. В описании схем используются обозначения предприятия изготовителя [7].

Источник G1 – источник синусоидального напряжения промышленной частоты.

Источник питания двигателя постоянного тока G2 используется для питания регулируемым напряжением обмоток машины (двигателя) постоянного тока M1, работающей с независимым, параллельным или последовательным возбуждением. При этом в первых двух случаях половины обмотки возбуждения двигателя M1 следует соединить последовательно, а в третьем случае - параллельно.

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

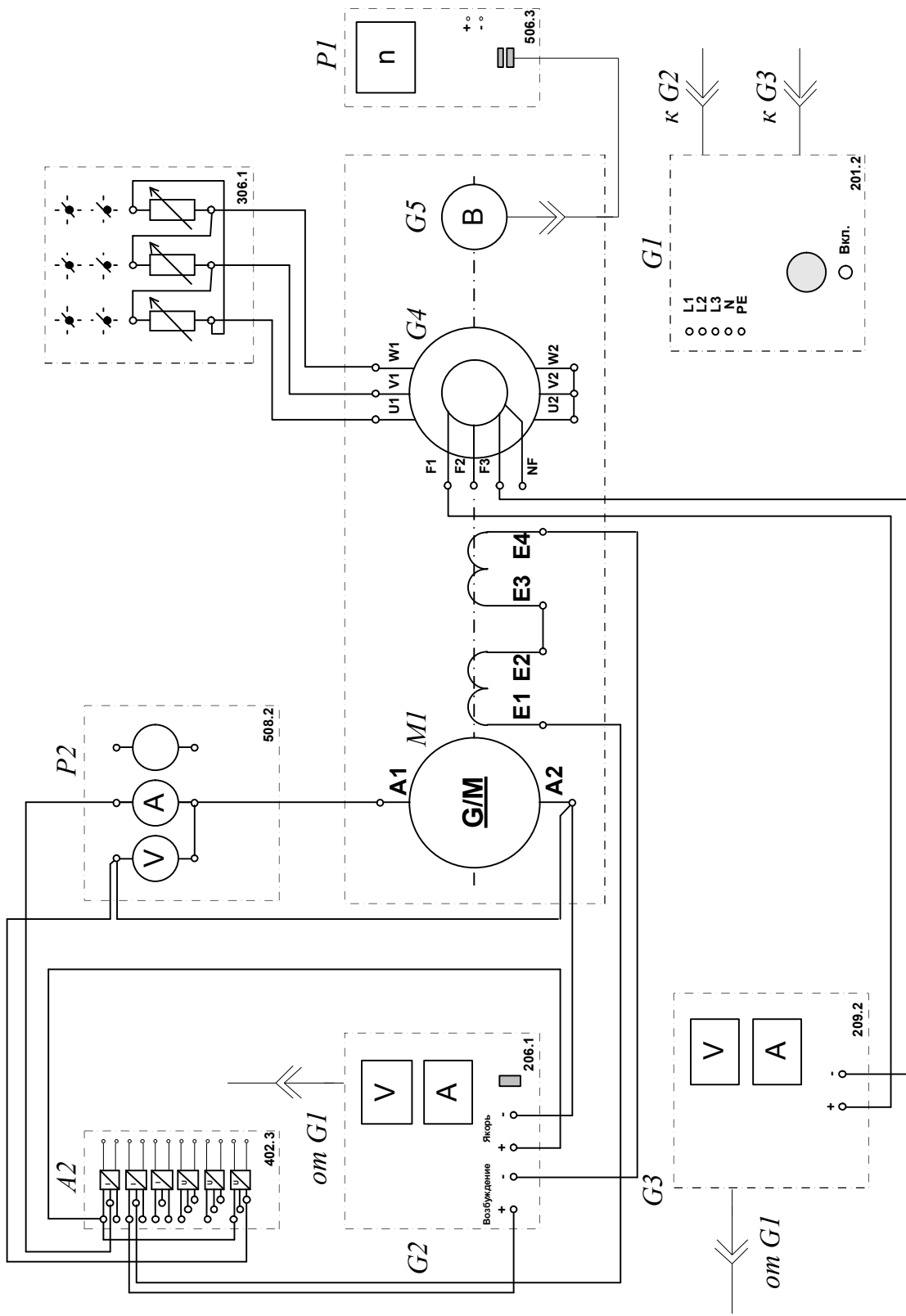


Рисунок 1.6 Электрическая схема соединений для исследования двигателя с независимым возбуждением

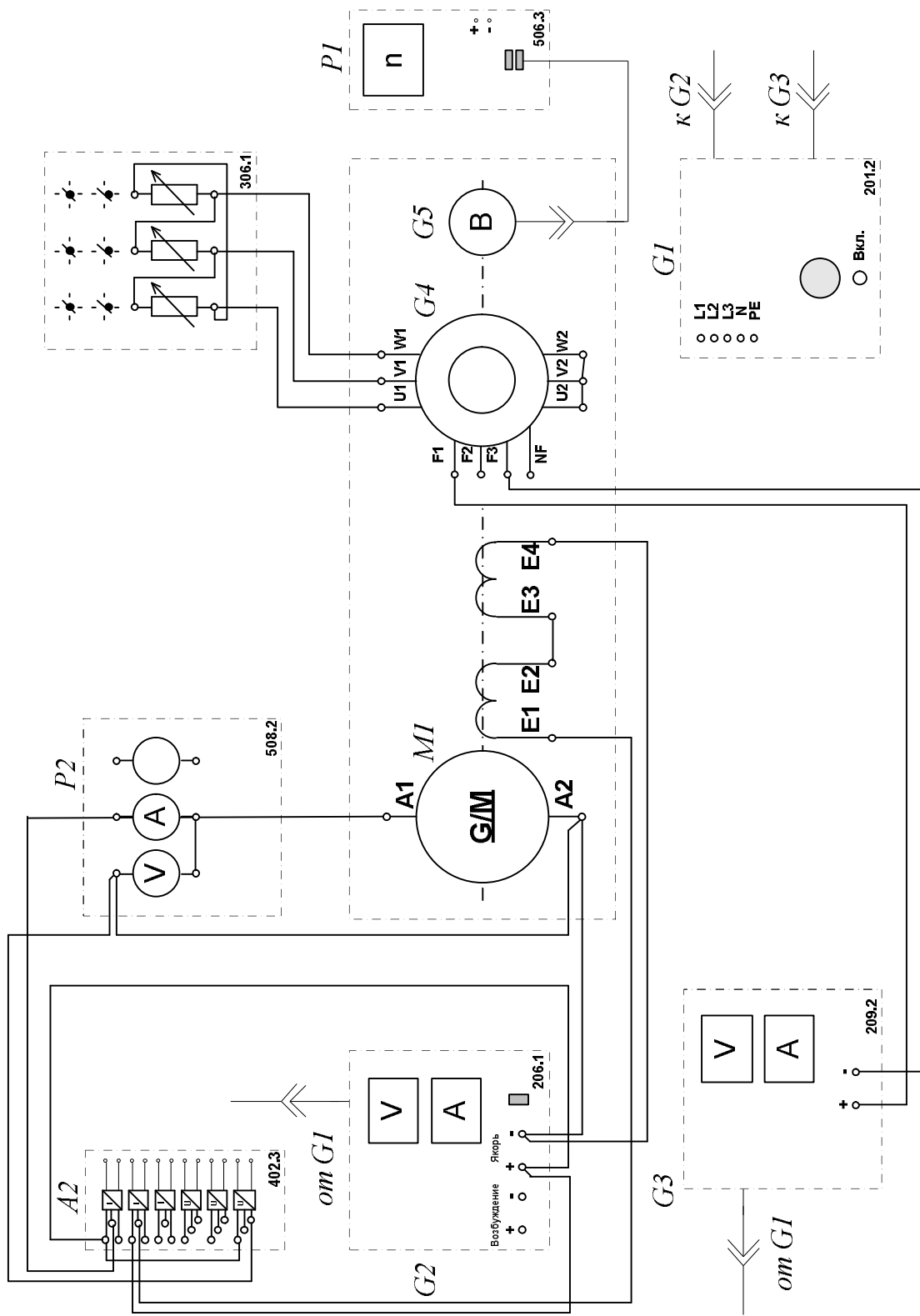


Рисунок 1.7 Электрическая схема соединений для исследования двигателя с параллельным возбуждением

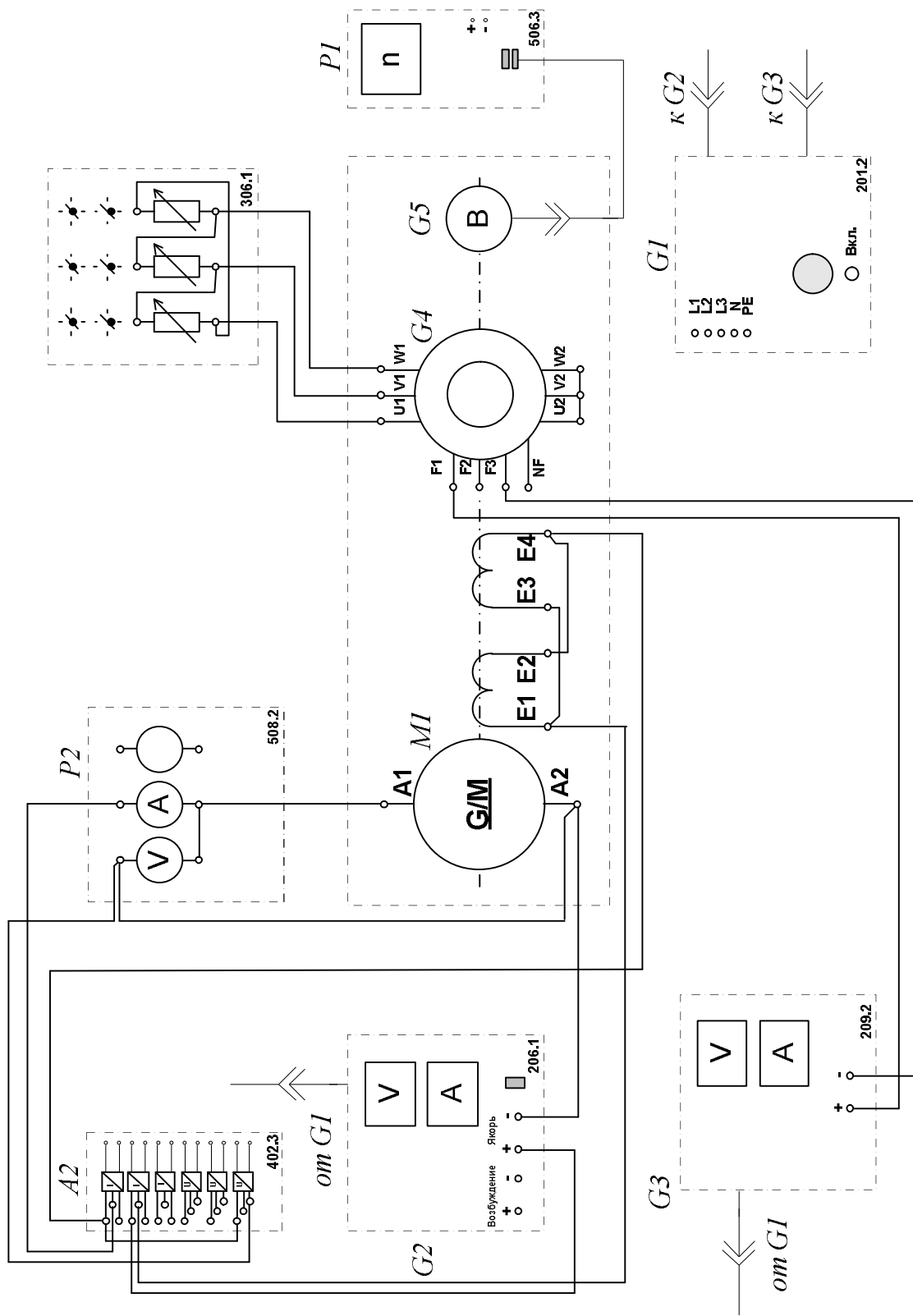


Рисунок 1.8 Электрическая схема соединений для исследования двигателя с последовательным возбуждением

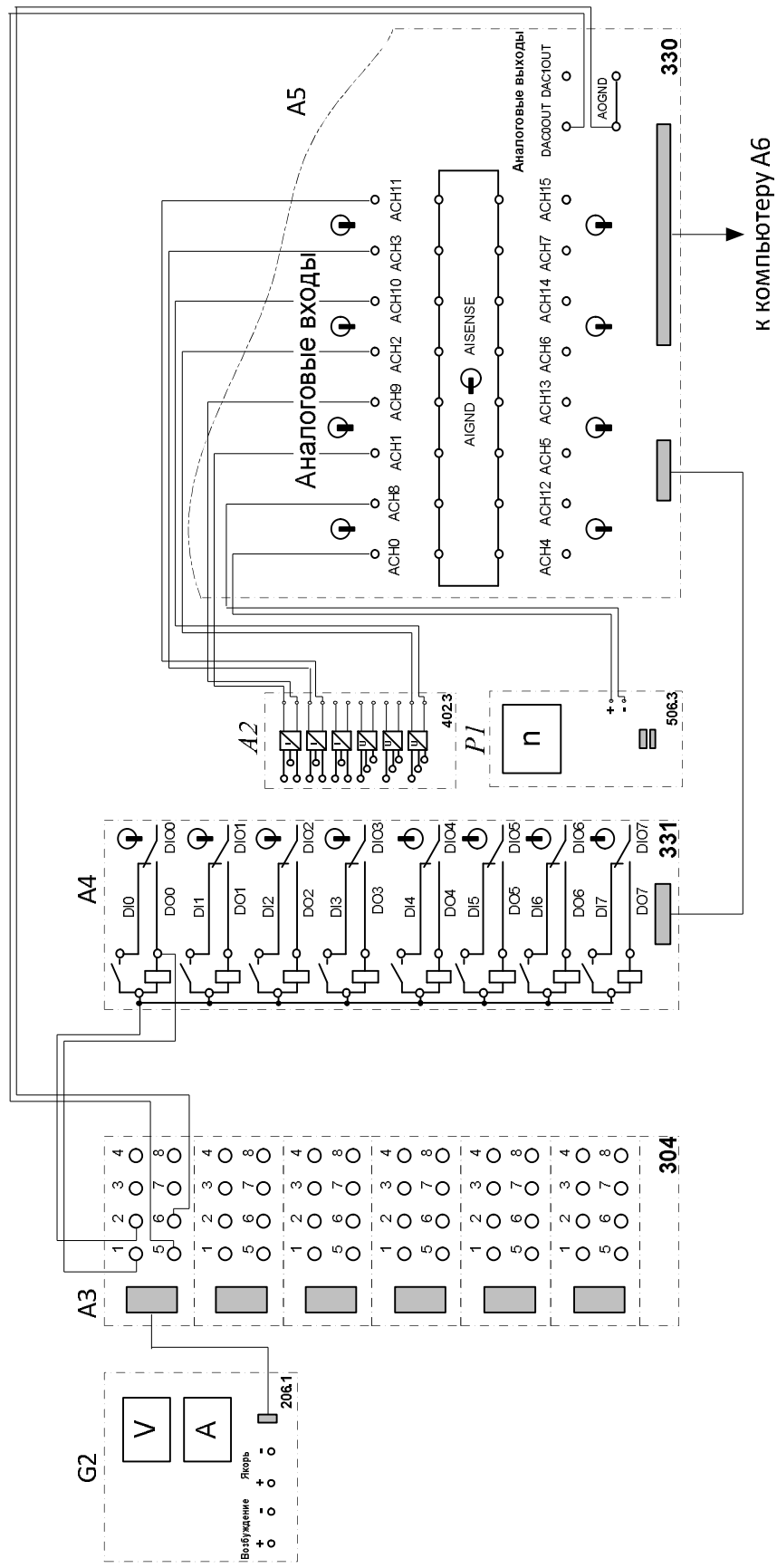


Рисунок 1.9 Электрическая схема соединений информационно-измерительной и управляющей системы

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

Датчики тока и напряжения блока A2 гальванически изолируют от силовой электрической цепи и нормирует сигналы о токе и напряжении якоря и токе возбуждения исследуемого двигателя M1.




Терминал A3 служит для разветвления на отдельные проводники кабеля, подключенного к источнику G2 (рисунок 1.9).

Блок A4 служит для усиления цифровых сигналов.

Коннектор A5 выполняет функцию связующего звена между компьютером A6, блоком датчиков тока и напряжения A2, указателем частоты вращения P1 и блоком ввода-вывода цифровых сигналов A4.

Компьютер A6 используется в режиме информационно-измерительной и управляющей системы.

#### 4.2 Методические указания по проведению экспериментов

- Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
- Соберите электрическую схему соединения тепловой защиты машины переменного тока.
- Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
- Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рисунок 1.6 для исследования двигателя с независимым возбуждением) / (рисунок 1.7 для исследования двигателя с параллельным возбуждением) / (рисунок 1.8 для исследования двигателя с последовательным возбуждением).
- Переключатель режима работы источника G2 установите в положение «АВТ.», а возбуждения G3 – положение «РУЧН».
- Регулировочные рукоятки активной нагрузки A1 установите в крайнее по часовой стрелке положение.
- Регулировочную рукоятку возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.
- Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A6.
- Запустите одну из программ «Источник ЭДС – двигатель постоянного тока - Опыт 1» или «Источник ЭДС – двигатель постоянного тока - Опыт 2».
- Нажмите на виртуальную кнопку «Параметры»  и задайте параметры управления электроприводом. Например, используйте уставки по умолчанию, нажав виртуальную кнопку «Использовать уставки по умолчанию».
- Запустите сбор данных, нажав кнопку «Запустить» .
- Включите источник G1.

- Включите выключатель «СЕТЬ» у всех используемых в экспериментах устройств.
- Нажмите кнопку «ВКЛ.» возбудителя G3.
- Нажмите на виртуальную кнопку «ПУСК».
- Вращая виртуальную регулировочную рукоятку, установите задание скорости вращения двигателя M1, например 150 рад/с. Электродвигатель M1 должен разогнаться.

### 4.3 Порядок выполнения работы

#### 4.3.1 Определение статической механической характеристики двигателя

Вращая регулировочную рукоятку возбудителя генератора G3, изменяйте ток якоря  $I_a$  (до 1 А) двигателя M1 и заносите показания соответствующего амперметра и вольтметра блока P2, а также указателя P1 в таблицу 1.1

Таблица 1.1 Результаты опытов по снятию статической механической характеристики двигателя

Параметры	Двигатель с независимым возбуждением								
$I_a, A$									
$U_a, B$									
$n, \text{мин}^{-1}$									
$M, H \cdot m$									
$\omega, c^{-1}$									
	Двигатель с параллельным возбуждением								
$I_a, A$									
$U_a, B$									
$n, \text{мин}^{-1}$									
$M, H \cdot m$									
$\omega, c^{-1}$									
	Двигатель с последовательным возбуждением								
$I_a, A$									
$U_a, B$									
$n, \text{мин}^{-1}$									
$M, H \cdot m$									
$\omega, c^{-1}$									

Наблюдайте механическую характеристику двигателя M1 на экране монитора компьютера

Используя полученные данные, после завершения эксперимента вычислите значения угловой частоты вращения  $\omega$  двигателя M1 по выражению

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}, \quad (1.11)$$

и его электромагнитного момента  $M$  по формуле

$$M = \frac{60}{2\pi n} (U_a - 65I_a)I_a. \quad (1.12)$$

Используя данные таблицы 1.1, после завершения эксперимента постройте в виде графика механическую характеристику  $\omega = f(M)$  двигателя М1.

#### 4.3.2 Регулирование скорости вращения двигателя изменением напряжения якоря

Вращая регулировочную рукоятку возбуждителя G3, установите ток якоря двигателя М1 равным, например, 0,5 А и поддерживайте его в ходе эксперимента.

Вращая виртуальную регулировочную рукоятку, уменьшайте задание скорости вращения двигателя М1 и заносите показания вольтметра блока P2 и указателя P1 в таблицу 1.2

Таблица 1.2 Результаты опытов регулирования скорости вращения двигателя изменением напряжения якоря

Параметры	Двигатель с независимым возбуждением								
$U_a, В$									
$n, \text{мин}^{-1}$									
$\omega, \text{с}^{-1}$									
	Двигатель с параллельным возбуждением								
$U_a, В$									
$n, \text{мин}^{-1}$									
$\omega, \text{с}^{-1}$									
	Двигатель с последовательным возбуждением								
$U_a, В$									
$n, \text{мин}^{-1}$									
$\omega, \text{с}^{-1}$									

Используя полученные данные, после завершения эксперимента вычислите значения угловой скорости вращения  $\omega$  двигателя М1 по выражению (1.11) и занесите полученные результаты в таблицу.

Используя данные (таблица 1.2), после завершения эксперимента постройте в виде графика зависимость  $\omega = f(U_a)$ .


### 4.3.3 Определение координат и параметров электропривода в переходном режиме

Вращая виртуальную регулировочную рукоятку, установите задание скорости вращения двигателя М1, например 150 рад/с.

Вращая регулировочную рукоятку возбуждателя G3, установите ток якоря двигателя М1 равным, например, 0,5 А.

Организируйте переходный процесс, например, сброс-наброс нагрузки двигателя М1. 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.

## 5 Контрольные вопросы

- 1) Каково значение отдельных элементов электрической схемы лабораторной установки?
- 2) Какое должно быть положение реостатов в цепи якоря и возбуждения двигателя постоянного тока при его пуске?
- 3) Как осуществляются различные виды торможения и для привода каких рабочих машин они могут быть применены?
- 4) Указать особенности механических характеристик двигателя постоянного тока независимого, параллельного и последовательного возбуждения?
- 5) Как регулируется скорость двигателя постоянного тока выше номинальной?
- 6) Как регулируется скорость двигателя постоянного тока ниже номинальной?

## **2 РЕВЕРСИВНЫЙ ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ – ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ**

### **Лабораторная работа № 2**

#### **1 Цель работы**

Изучение автоматизированного электропривода постоянного тока с применением системы реверсивного тиристорного преобразователя.

#### **2 Программа работы**

- 2.1 Ознакомление с работой, запись паспортных данных оборудования.
- 2.2 Определение статической механической характеристики двигателя.
- 2.3 Регулирование скорости и направления вращения двигателя изменением напряжения якоря.
- 2.4 Обработка полученных результатов.

#### **3 Краткие теоретические сведения**

Система тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока (ТП-ДТП) независимого возбуждения представлена на рисунке 2.1.

Схема включает в себя трехфазный согласующий трансформатор  $T$ , тиристорный преобразователь  $ТП$ , состоящий из шести тиристоров  $VS1...VS6$ , сглаживающий реактор  $L$ , систему импульсно-фазового управления (СИФУ) тиристорами, электродвигатель  $M$ . Обмотка возбуждения  $ОВМ$  ДПТ НВ питается от отдельного источника постоянного тока, например неуправляемого или управляемого выпрямителя.

$ТП$  обеспечивает регулирование напряжения на двигателе за счет изменения среднего значения электродвижущей силы (э.д.с.) преобразователя  $E_d$ . Это достигается регулированием с помощью СИФУ угла управления тиристорами  $\alpha$ , который задается с помощью напряжения управления  $U_y$ , подаваемого на вход СИФУ. Когда угол управления  $\alpha = 0$ , т. е. тиристоры  $VS1...VS6$  получают импульсы управления от СИФУ в момент их естественного открывания, к якору двигателя прикладывается полное напряжение. Если с помощью СИФУ осуществлять подачу импульсов управления на тиристоры со сдвигом относительно их момента естественного открывания на угол  $\alpha$ , то э.д.с. преобразователя и, соответственно, напряжение якоря ДПТ будут уменьшаться.

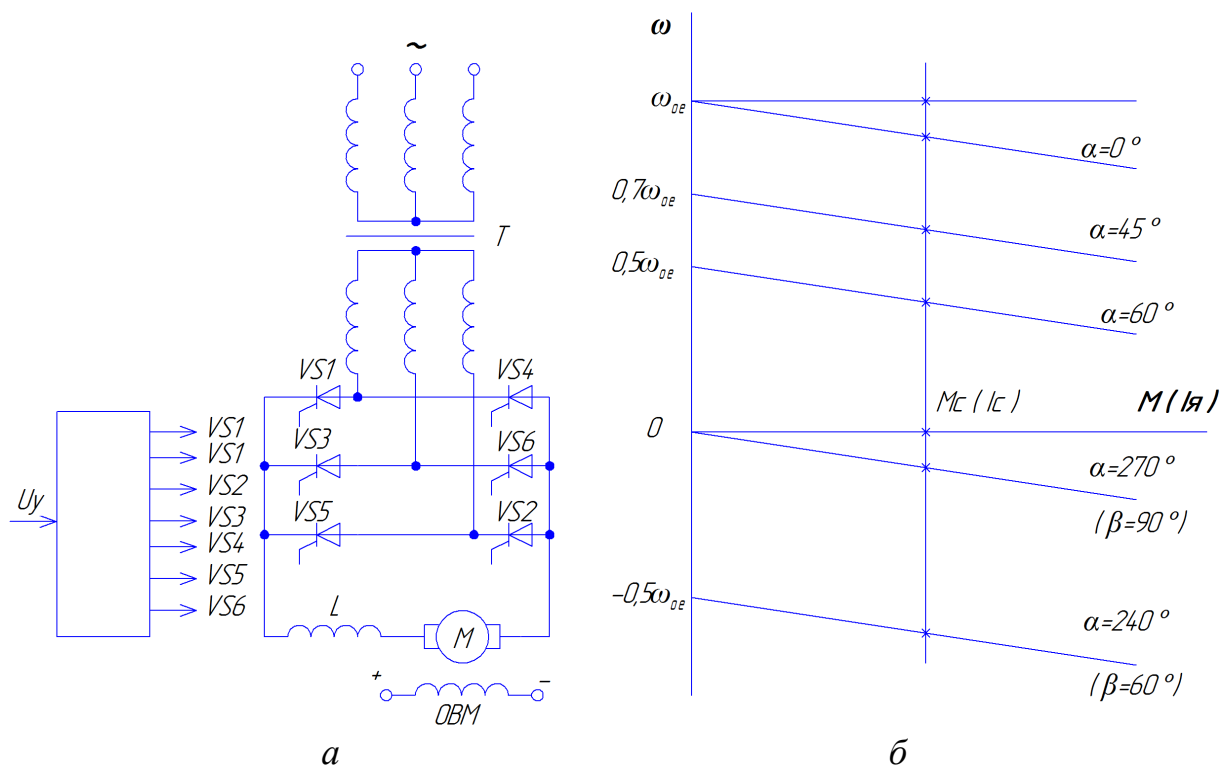


Рисунок 2.1 Тиристорный электропривод постоянного тока: *а* – схема электрическая; *б* – механическая характеристики

Среднее значение выпрямленного напряжения при питании от ТП:

$$U_d = E_{d0} \cos \alpha, \quad (2.1)$$

где  $E_{d0}$  – среднее значение э.д.с. ТП при  $\alpha = 0$ .

Уравнение электромеханической характеристики ДПТ НВ:

$$\omega = \frac{U_{\text{я}}}{c} - \frac{I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{c}, \quad (2.2)$$

где  $\omega$  – угловая скорость ДПТ, рад/с;

$U_{\text{я}}$  – напряжение якоря электродвигателя, В;

$I_{\text{я}}$  – ток в цепи обмотки якоря, А;

$c$  – электромеханический коэффициент, Вб;

$R_{\text{я}}$  – сопротивление якоря, Ом,

$R_{\text{я}} = r_{o.я} + r_{\partial.n} + r_{к.о} + r_{щ}$ , состоит из сопротивления обмотки якоря  $r_{o.я}$ , добавочных полюсов  $r_{\partial.n}$ , компенсационной обмотки  $r_{к.о}$  и щеточного контакта  $r_{щ}$ .

Уравнение механической характеристики ДПТ НВ имеет вид:

$$\omega = \frac{U_{я}}{c} - \frac{MR_{я}}{c^2}, \quad (2.3)$$

где  $M$  – момент ДПТ, Н·м.

При питании от ТП напряжение якоря электродвигателя  $U_{я}$  равно среднему значению выпрямленного напряжения  $U_d$ , а среднее значение выпрямленного тока  $I_d$  равно току якоря  $I_{я}$ . С учетом последнего после подстановки выражения (2.1) в формулы (2.2) и (2.3) получим следующие формулы для электромеханической и механической характеристик системы ТП–ДПТ:

$$\omega = \frac{E_{d0} \cos \alpha}{c} - I_{я} \frac{R_{я} + R_{п}}{c}, \quad (2.4)$$

$$\omega = \frac{E_{d0} \cos \alpha}{c} - M \frac{R_{я} + R_{п}}{c^2}, \quad (2.5)$$

где  $R_{п}$  — эквивалентное внутреннее сопротивление ТП.

На рисунке 2.1 (б) приведены механические характеристики ДПТ при питании его от ТП. Они линейны и параллельны друг другу. Вследствие наличия внутреннего сопротивления ТП  $R_{п}$  эти характеристики имеют больший наклон (меньшую жесткость), чем аналогичные естественные характеристики ДПТ НВ.

Меньшим углам управления  $\alpha$  соответствует большая э.д.с. ТП  $U_d$  и более высокая скорость двигателя.

## 4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

### 4.1 Описание установки

Схема лабораторной установки представлена на рисунке 2.2.

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, нагруженная на активную нагрузку A1. Возбудитель G3 питает обмотку возбуждения машины G4 регулируемым напряжением.



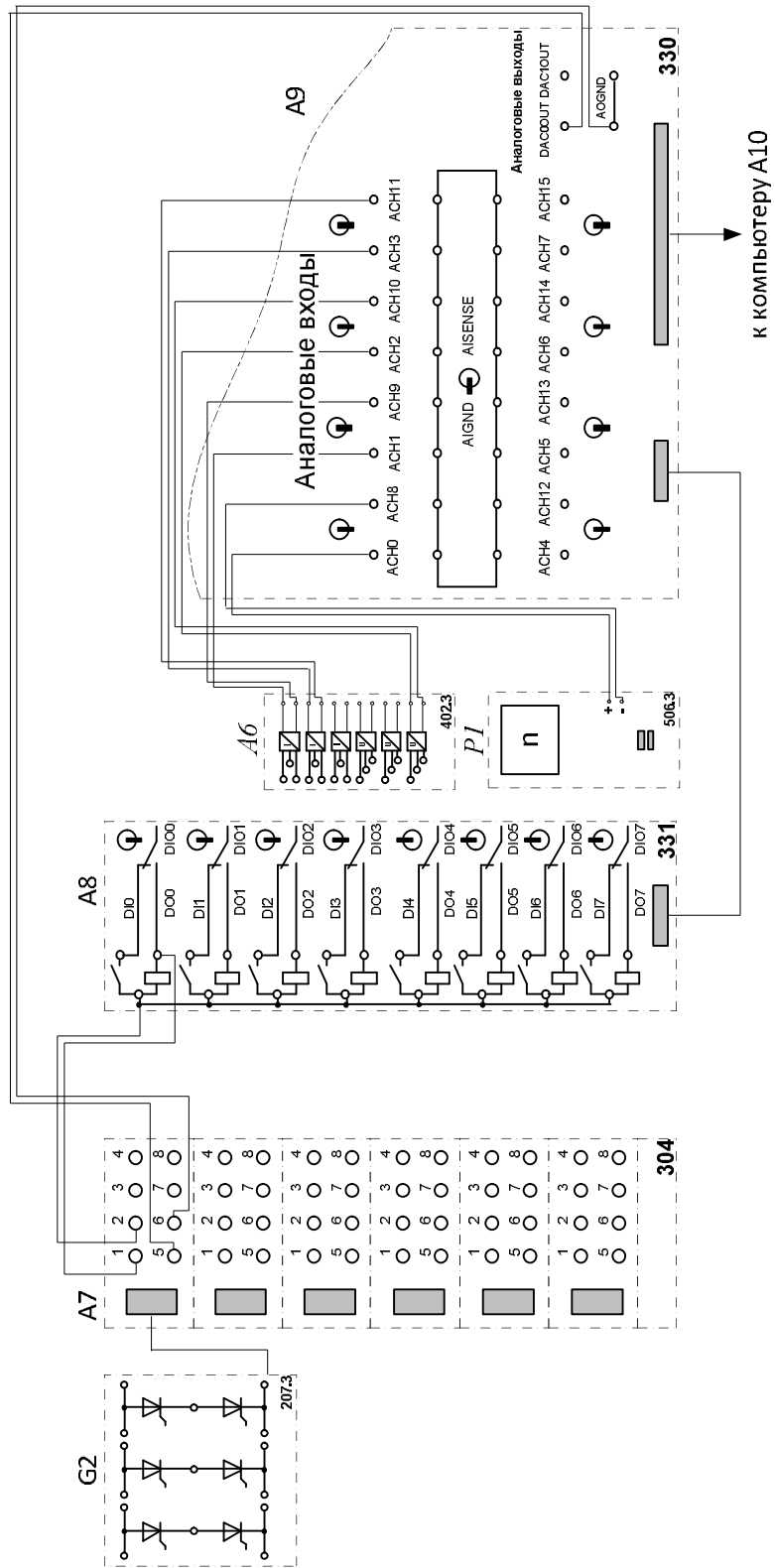


Рисунок 2.3 Электрическая схема соединений информационно-измерительной и управляющей системы

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 выпрямителя 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. (рисунок 2.3)

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.

## 4.2 Методические указания по проведению экспериментов

Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.

Соберите электрическую схему соединения тепловой защиты машины переменного тока как показано на рисунке 2.4

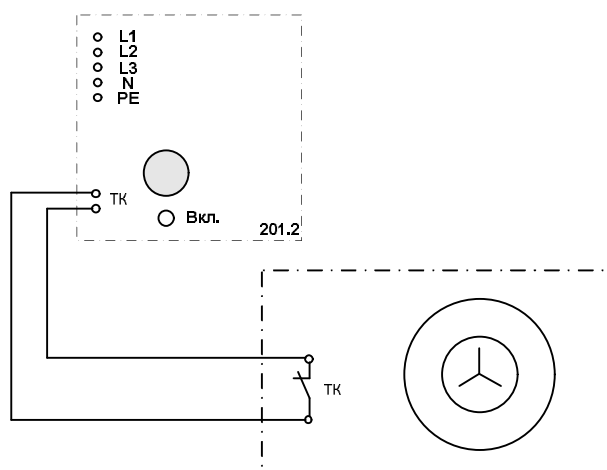



Рисунок 2.4 Электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока

Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

Переключатель режимов возбудителя G3 установите в положение «РУЧН».

Номинальное вторичное фазное напряжение трехфазной трансформаторной группы A2 установите равным 220 В.

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

Регулировочные рукоятки возбудителя G3 и тиристорного преобразователя G2 поверните против часовой стрелки до упора.


Включите выключатели «СЕТЬ» блока мультиметров P2, указателя частоты вращения P1, блока датчиков тока и напряжения A6 и блока ввода/вывода цифровых сигналов A8.

Включите выключатель «СЕТЬ» тиристорного преобразователя/регулятора G2.

Задайте автоматический режим управления преобразователем G2, для чего нажмите кнопку «УПРАВЛЕНИЕ» на его лицевой панели.

Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A10.

Запустите программу «Реверсивный преобразователь – двигатель постоянного тока».

Нажмите на виртуальную кнопку «Параметры»  и задайте параметры управления электроприводом. Например, 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 G2 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 M1, например 157 рад/с. Электродвигатель M1 должен разогнаться.

## **4.3 Порядок выполнения работы**

### **4.3.1 Определение статической механической характеристики двигателя**

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

Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, изменяйте ток якоря  $I_a$  (до 1 А) двигателя M1 и заносите показания соответствующего амперметра и вольтметра блока P2, а также указателя P1 в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 Результаты опыта определения статической механической характеристики двигателя

Параметры	Измерения							
$\beta$ , град.								
$I_a$ , А								
$U_a$ , В								
$n$ , мин <sup>-1</sup>								
$M$ , Н·м								
$\omega$ , с <sup>-1</sup>								

Наблюдайте механическую характеристику двигателя М1 на экране монитора компьютера.

Используя полученные данные, после завершения эксперимента вычислите значения угловой частоты вращения  $\omega$  двигателя М1 по выражению

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}, \quad (2.6)$$

и его электромагнитного момента  $M$  по формуле

$$M = \frac{60}{2\pi n} (U_a - 65I_a)I_a, \quad (2.7)$$

и занесите полученные результаты в таблицу 2.1.

Используя данные таблицы 2.1, после завершения эксперимента постройте в виде графика механическую характеристику  $\omega = f(M)$  двигателя М1.

#### 4.3.2 Регулирование скорости и направления вращения двигателя изменением напряжения якоря

Вращая регулировочную рукоятку возбуждателя G3, установите ток якоря двигателя М1 равным, например, 0,5 А и поддерживайте его в ходе эксперимента.

Вращая виртуальную регулировочную рукоятку, изменяйте задание скорости вращения двигателя М1, в том числе с противоположным знаком, и заносите показания вольтметра блока Р2 и указателя Р1 в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 Результаты опыта регулирования скорости и направления вращения двигателя изменением напряжения якоря

Параметры	Измерения								
$U_a, В$									
$n, \text{мин}^{-1}$									
$\omega, \text{с}^{-1}$									

Используя полученные данные, после завершения эксперимента вычислите значения угловой скорости вращения  $\omega$  двигателя М1 по выражению (2.6) занесите полученные результаты в таблицу 2.2.

Используя данные таблицы 2.2, после завершения эксперимента постройте в виде графика зависимость  $\omega = f(U_a)$ .


### 4.3.3 Определение координат и параметров и электропривода в переходном режиме

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

Вращая регулировочную рукоятку возбuditеля G3, установите ток якоря двигателя М1 равным, например, 0,5 А.

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

## 5 Контрольные вопросы

- 1) Область применения тиристорных преобразователей?
- 2) Поясните назначение реактора L на рисунке 2.2?
- 3) Как с помощью тиристорного преобразователя осуществить динамическое торможение ДПП НВ?
- 4) Как изменяются электромеханические и механические характеристики электропривода с ДПП НВ при изменении угла управления тиристорами  $\alpha$ ?
- 5) Как односторонняя проводимость тиристорov влияет на механические характеристики ДПП НВ?

### **3 ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ - АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

#### **Лабораторная работа № 3**

#### **1 Цель работы**

- 1.1 Изучить основные свойства преобразователей частоты.
- 1.2 Экспериментальное исследование механических и регулировочных характеристик частотно-управляемого асинхронного электродвигателя.

#### **2 Программа работы**

- 2.1 Ознакомление с работой, запись паспортных данных приборов.
- 2.2 Определение статической механической характеристики двигателя.
- 2.3 Регулирование скорости вращения двигателя согласованным изменением частоты и величины напряжения статора.
- 2.4 Определение координат и параметров электропривода в переходном режиме.
- 2.5 Обработка полученных результатов.

#### **3 Краткие теоретические сведения**

Принцип регулирования скорости асинхронного двигателя (АД) изменением частоты питающего напряжения заключается в том, что изменяя частоты  $f_1$  напряжения на статоре АД, можно изменить скорость идеального холостого хода  $\omega_0$ :

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{2p}, \quad (3.1)$$

где  $2p$  – число пар полюсов.

Регулируя  $f_1$  можно получать различные искусственные характеристики. Частотный способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне, высокую жесткость получаемых механических характеристик. Регулирование скорости АД не сопровождается увеличением его скольжения. Поэтому потери мощности при регулировании скорости оказываются небольшими.

Пренебрегая падением напряжения в первичной цепи, можно записать, что напряжение сети уравнивается э.д.с. двигателя:

$$U_1 \approx E = \sqrt{2}\pi(W_1 K_o) f_1 \Phi, \quad (3.2)$$

где  $W_1$  – число витков фазы обмотки статора;

$K_0$  – обмоточный коэффициент;  
 $\Phi$  — магнитный поток в воздушном зазоре АД.

Из последнего выражения следует, что при изменении частоты с целью регулирования скорости, равновесие ЭДС и напряжения сети может быть сохранено только за счет увеличения магнитного потока двигателя. При этом магнитная цепь будет насыщаться, а ток статора интенсивно нарастать по нелинейному закону. Поэтому работа АД в режиме частотного управления при неизменном напряжении оказывается невозможной. Чтобы сохранить неизменным магнитный поток при уменьшении частоты, необходимо одновременно снижать и величину напряжения. Закон изменения напряжения определяется характером зависимости момента сопротивления от скорости.

При постоянном моменте нагрузки  $M_c = \text{const}$  напряжение на статоре должно регулироваться пропорционально его частоте:

$$U_1 / f_1 = \text{const}. \quad (3.3)$$

Для момента сопротивления, пропорционального квадрату скорости электродвигателя  $M_c = c\omega^2$ , это соотношение примет вид:

$$U_1 / f_1^2 = \text{const}. \quad (3.4)$$

При моменте сопротивления, обратно пропорциональном скорости  $M_c = c/\omega$ , оно запишется в виде:

$$U_1 / \sqrt{f_1} = \text{const}. \quad (3.5)$$

Для реализации частотного способа регулирования скорости АД используются тиристорные преобразователи частоты (ТПЧ) (рисунок 3.1, а).

На вход ТПЧ подается стандартное напряжение сети  $U_1$  (220, 380 В и т. д.) промышленной частоты  $f_1=50$  Гц, а с его выхода снимается переменное напряжение  $U_{1рег}$  регулируемой частоты  $f_{1рег}$ , значения которых находятся между собой в определенных соотношениях в зависимости от вида функции  $M_c=f(\omega)$ . Выходная частота и напряжение регулируются с помощью напряжения управления  $U_y$ , изменение которого определяет изменение частоты и тем самым скорости АД.

Механические характеристики АД при его управлении по закону  $U_1 / f_1 = \text{const}$  представлены на рисунке 3.1, б: характеристики 1, 2 - для частот  $f_{1рег} < f_1$ , характеристика 3 - для  $f_{1рег} > f_1$ .

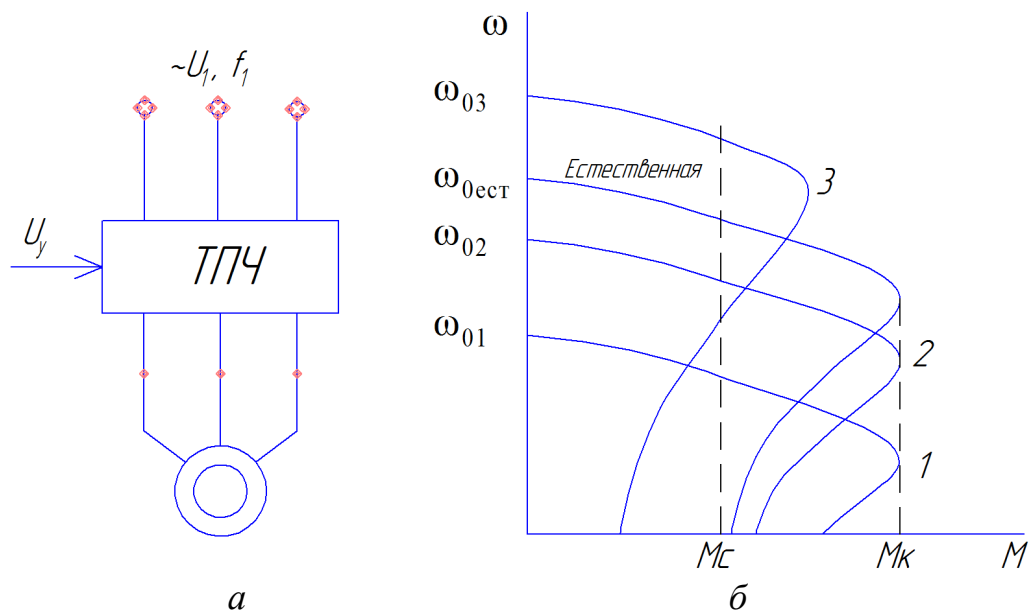


Рисунок 3.1 Тиристорный преобразователь частоты – асинхронный двигатель:  
 а – схема электрическая; б – механические характеристики

## 4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

### 4.1 Описание установки

Схема лабораторной установки представлена на рисунке 3.2.

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 M1.

Терминал A4 служит для разветвления на отдельные проводники кабеля, подключенного к преобразователю частоты G5.

Коннектор A3 выполняет функцию связующего звена между компьютером A4 и блоком измерительных трансформаторов A1. (рисунок 3.3)

Блок A4 выполняет функцию усилителя цифровых сигналов.

Компьютер A5 используется в режиме информационно-измерительной системы и в качестве устройства управления преобразователем частоты G5.

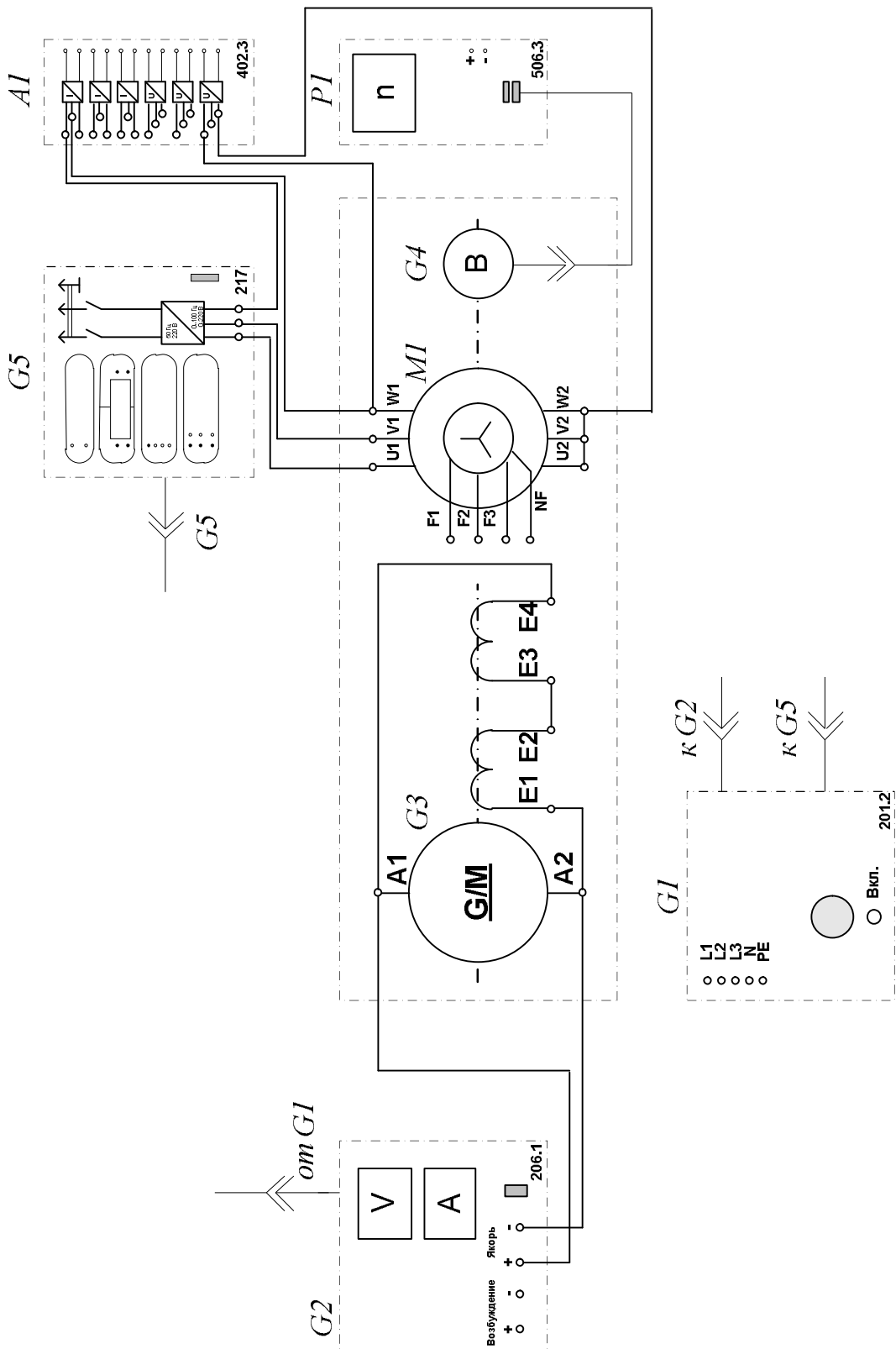


Рисунок 3.2 Электрическая схема соединений для исследования преобразователя напряжения

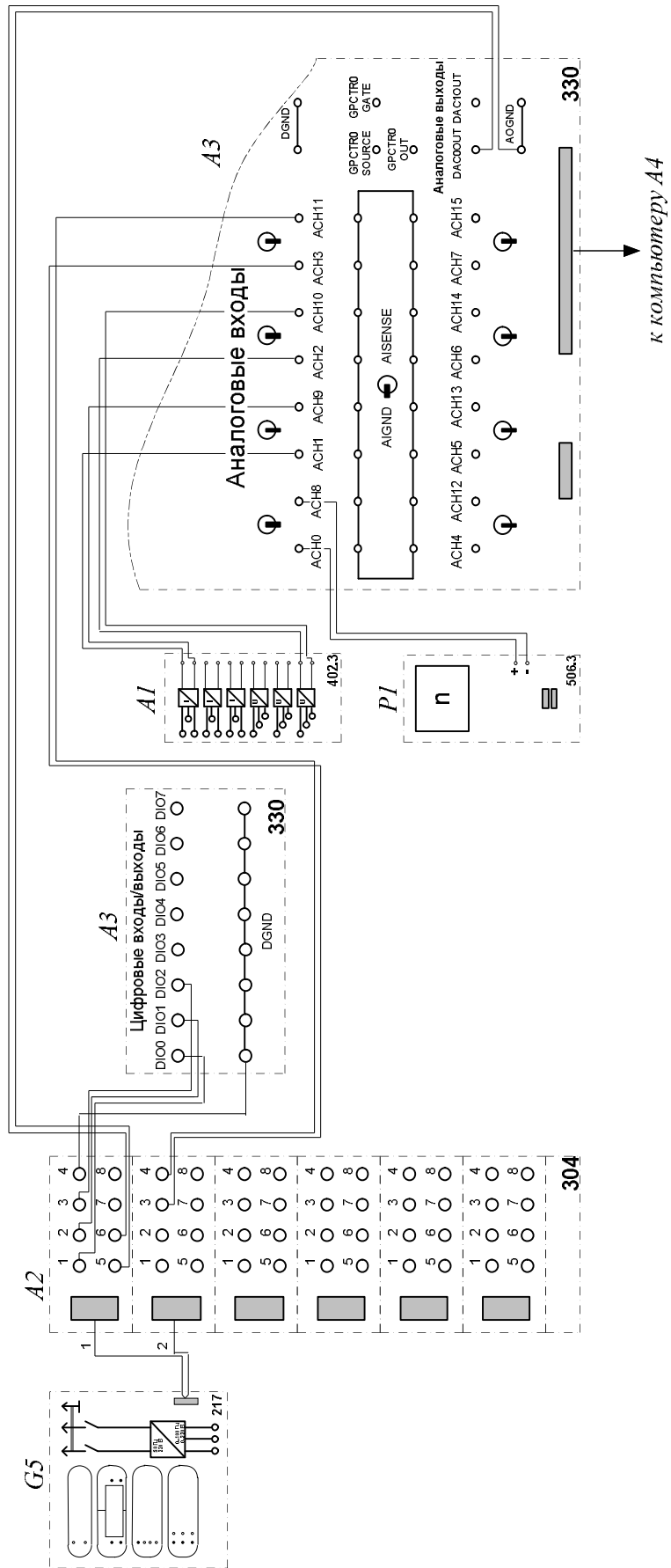



Рисунок 3.3 Электрическая схема соединений информационно-измерительной и управляющей системы

## 4.2 Методические указания по проведению экспериментов:

Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.

Соберите электрическую схему соединения тепловой защиты машины переменного тока как показано на рисунке 2.4

Соедините гнезда защитного заземления "" 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 «МАС-СИВ 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 «МАС-СИВ 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 М1 должен разогнаться.

### 4.3 Порядок выполнения работы

*Измерение координат электропривода в статическом режиме*

Частоту вращения  $n$ ,  $\text{мин}^{-1}$  двигателя М1 измеряйте с помощью указателя Р1. Угловую скорость вращения  $\omega$ ,  $\text{рад/с}$  двигателя М1 измеряйте с помощью виртуального прибора на экране компьютера.

Электромагнитный момент  $M$ , Н·м двигателя М1 измеряйте виртуальным прибором на экране компьютера.

Ток двигателя  $I$ , А измеряйте виртуальным амперметром на экране компьютера.

#### 4.3.1 Определение статической механической характеристики двигателя

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  $0 \dots 1,5$  А.

Измеряйте значения угловой скорости  $\omega$  и электромагнитного момента  $M$  двигателя М1 и заносите их в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 Результаты опыта определения статической механической характеристики двигателя

Параметры	Измерения							
$\omega$ , рад/с								
$M$ , Нм								

#### 4.3.2 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 М1 в диапазоне  $0 \dots 170$  рад/с и заносите значения скорости  $\omega$  вращения двигателя М1 в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 Результаты опыта регулирования скорости двигателя

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

### 4.3.3 Определение координат и параметров электропривода в переходном режиме

Установите задание скорости вращения двигателя М1 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 М1. 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» .

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 экспериментов отключите задействованные в ней блоки.

По данным таблицы 3.1 постройте механическую характеристику  $\omega = f(M)$  двигателя. По данным таблицы 3.2 постройте характеристику  $\omega = f(\omega_3)$  двигателя.

## 5 Контрольные вопросы

- 1) Каким образом должно изменяться напряжение на статоре АД в случае изменения частоты напряжения при различных механических характеристиках производственных механизмов?
- 2) Область применения преобразователей частоты в сельском хозяйстве?
- 3) Как изменяется жесткость механической характеристики АД при частотном регулировании?
- 4) Достоинства применения преобразователей частоты в системе управления насосом?

# **4 ИСТОЧНИК НАПРЯЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ – СИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ**

## **Лабораторная работа № 4**

### **1 Цель работы**

- 1.1 Изучить принцип действия и устройство трехфазного синхронного двигателя.
- 1.2 Ознакомиться с особенностями и порядком пуска в ход синхронного двигателя.

### **2 Программа работы**

- 2.1 Ознакомление с работой, запись паспортных данных и приборов.
- 2.2 Настройка указателя угла нагрузки.
- 2.3 Определение статических угловых характеристик двигателя.
- 2.4 Определение статической U-образной характеристики двигателя.
- 2.5 Регулирование реактивной мощности двигателя изменением возбуждения.
- 2.6 Обработка полученных результатов.

### **3 Краткие теоретические сведения**

Синхронные трехфазные двигатели (СД) широко применяются в электроприводах самых разнообразных рабочих машин и механизмов, что объясняется их высокими технико-экономическими показателями:

1) Синхронные двигатели имеют высокий коэффициент мощности  $\cos \varphi$ , равный единице для электроприводов небольшой мощности и опережающий  $\cos \varphi$  в установках большой мощности. Способность СД работать с опережающим  $\cos \varphi$  и отдавать в сеть реактивную мощность позволяет улучшать режим работы и экономичность сети электроснабжения.

2) Высокий КПД современных СД, составляющий 96...98 %, что на 1...1,5% выше КПД АД тех же габаритов и скорости.

3) Возможность регулирования перегрузочной способности СД за счет регулирования тока возбуждения и меньшая зависимость этого показателя от напряжения сети по сравнению с АД.

4) Синхронный двигатель обладает абсолютно жесткой механической характеристикой.

5) Важным преимуществом конструкции СД является большой воздушный зазор, вследствие чего его характеристики и свойства мало зависят от износа подшипников и неточности монтажа ротора.

6) Возможность их изготовления на очень большие мощности (до нескольких десятков мегаватт и более).

На рисунке 4.1 приведена схема включения СД. На статоре СД, выполненном аналогично статору АД, располагается трехфазная обмотка, подключенная к сети переменного тока. Ротор СД выполняется с двумя обмотками: обмоткой возбуждения постоянного тока и короткозамкнутой пусковой обмоткой в виде беличьей клетки.

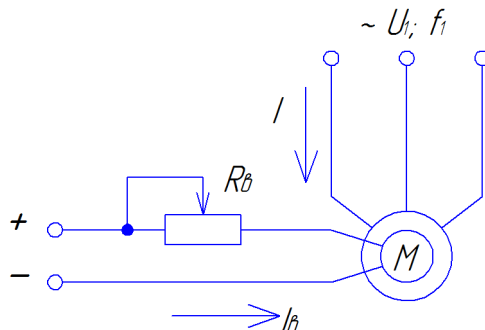


Рисунок 4.1 Схема включения СД

Пусковая обмотка обеспечивает механическую характеристику СД в виде одной из кривых, показанных на рисунке 4.2, а.

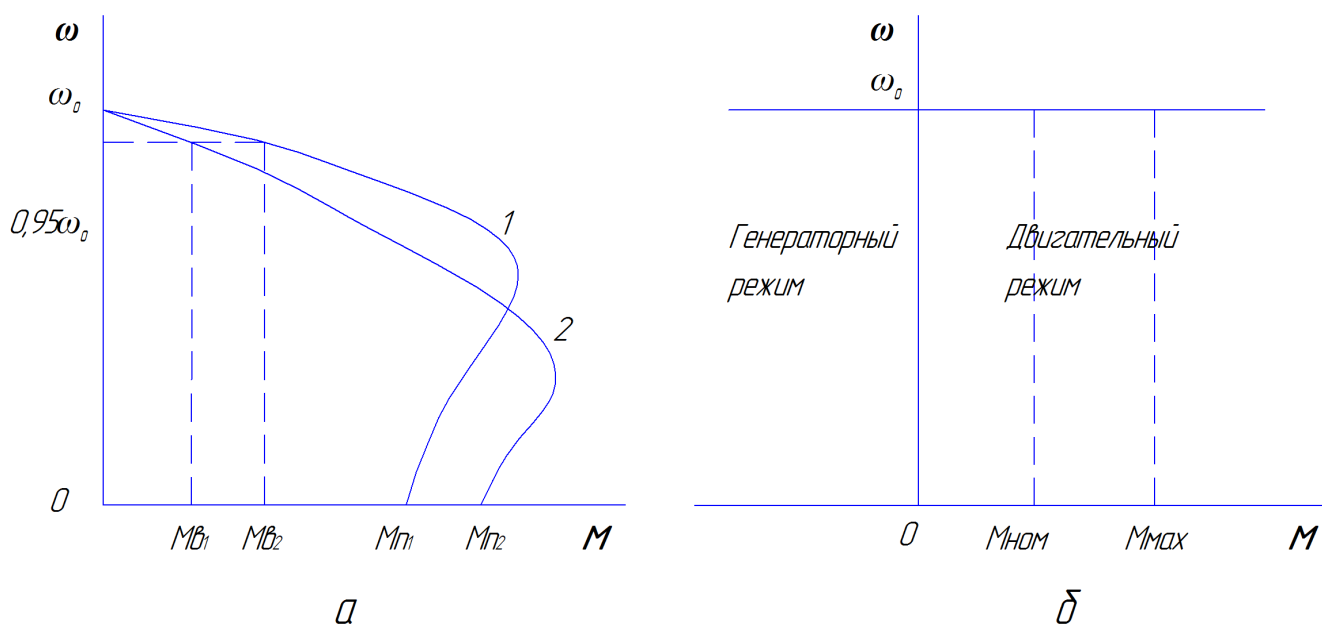


Рисунок 4.2 Механические характеристики СД: а – пусковая, б – статическая

Характеристика 1 обеспечивает по сравнению с характеристикой 2 больший «входной» момент СД ( $M_{B1} > M_{B2}$ ), но меньший пусковой момент  $M_{п1} < M_{п2}$ ). Выбор вида пусковой механической характеристики определяется конкретными условиями работы СД.

После вхождения СД в синхронизм его скорость при; изменениях момента нагрузки на валу до некоторого максимального значения  $M_{max}$  остается постоянной и равной угловой скорости магнитного поля (синхронной скорости)

$$\omega = 2\pi f_1 / 2p, \quad (4.1)$$

где  $2p$  – число пар полюсов СД;  $f_1$  – частота питающей сети.

Поэтому его механическая характеристика имеет вид горизонтальной прямой линии, показанной на рисунке 4.2, б. Если момент нагрузки превысит значение  $M_{max}$ , то СД может выпасть из синхронизма.

## 4 Описание лабораторной установки и порядок выполнения работы

### 4.1 Описание установки

Схема лабораторной установки представлена на рисунке 4.3 и 4.4.

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, нагруженной 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 группу A1 и трех полюсный 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 и напряжении фазы «А» и напряжения фазы «В» исследуемого двигателя M1.

Терминал A7 выполняет функцию связующего звена между компьютером A8 и блоком измерительных трансформаторов A6. (рисунок 4.5)

Компьютер A8 используется в режиме информационно-измерительной системы.

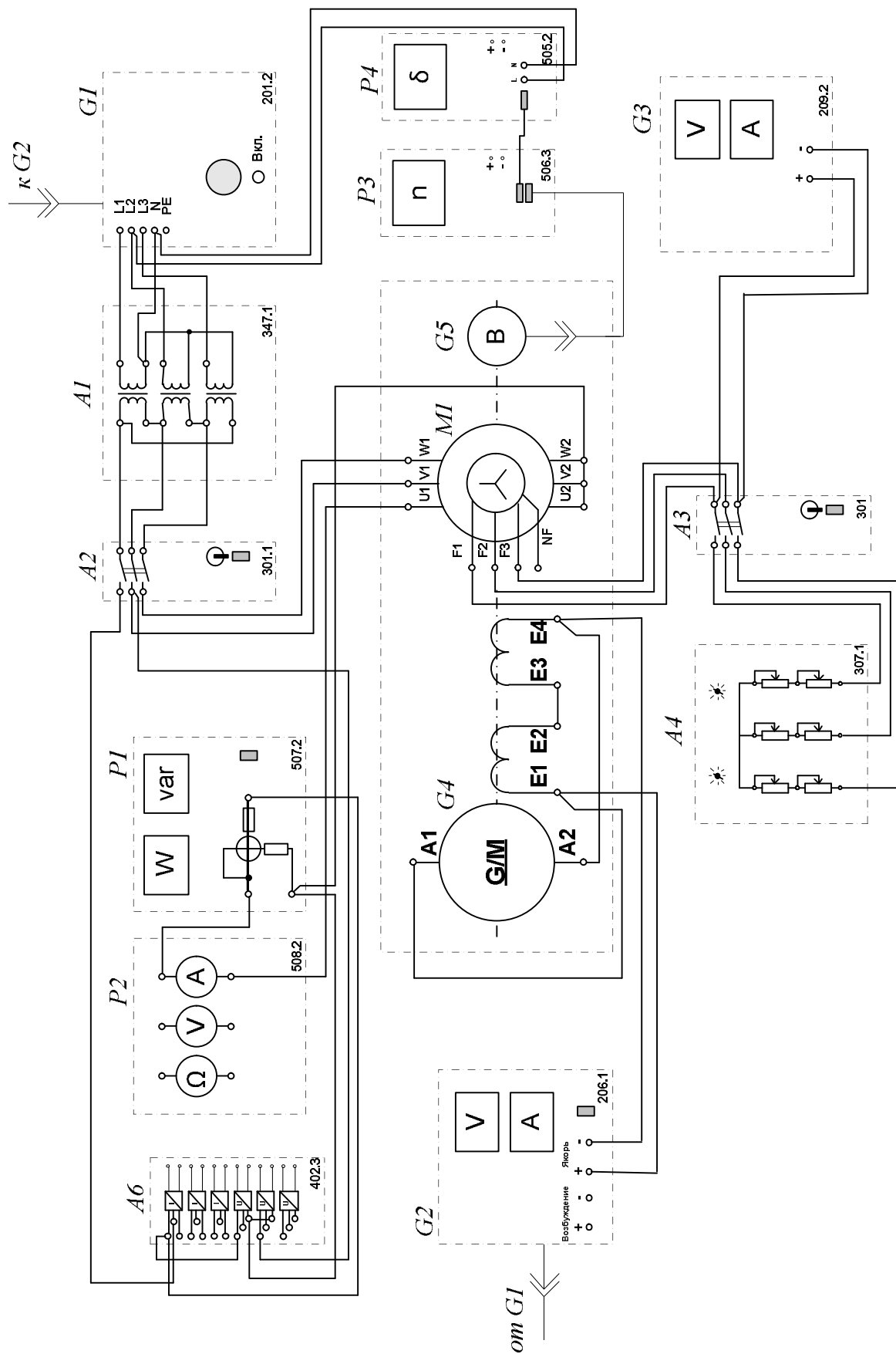


Рисунок 4.3 Электрическая схема соединений для настройки угла нагрузки



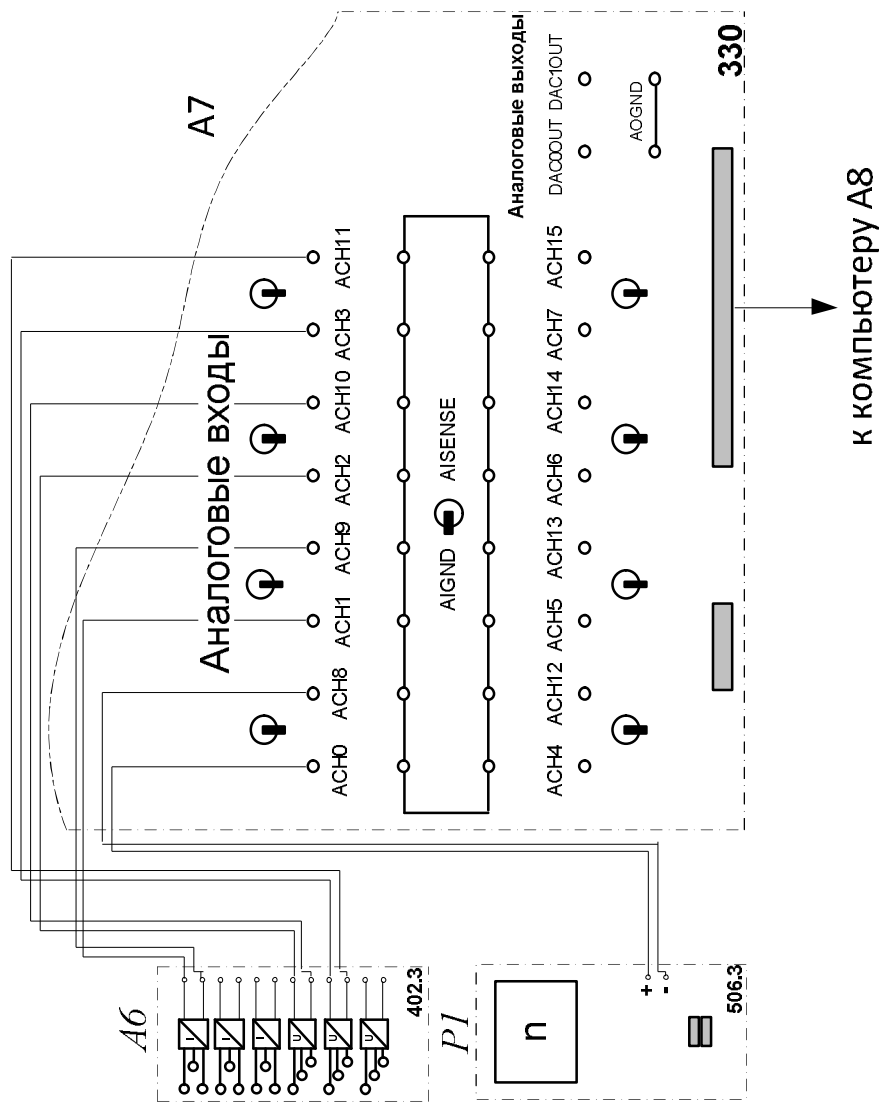



Рисунок 4.5 Электрическая схема соединений информационно-измерительной и управляющей системы

## 4.2 Методические указания по проведению экспериментов:

Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.

Соберите электрическую схему соединения тепловой защиты машины переменного тока как показано на рисунке 2.4

Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.

### *Настройка указателя угла нагрузки*

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рисунок 4.3 – для настройки указателя угла нагрузки P4).

Переключатели режима работы источника G2, возбuditеля G3 и выключателей A2, A3 установите в положение «РУЧН.».

Регулировочные рукоятки источника G2 и возбuditеля G3 поверните против часовой стрелки до упора.

Тумблер пределов измерения угла указателя P4 угла нагрузки синхронной машины установите в положение 200°.

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 возбuditеля G3, установите напряжение на его выходе равным 20 В.

Нажмите кнопку «ВКЛ» трехполюсного выключателя A2. Двигатель должен прийти во вращение.

Нажмите кнопку «ВКЛ» возбuditеля 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 возбuditеля 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°.

Отключите источник G1 нажатием на кнопку-гриб. Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, используемых в эксперименте.

## ***Подготовка к экспериментам***

Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (рисунок 4.4).

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».

### **4.3 Порядок выполнения работы**

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.

#### **4.3.1 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 4.1.

Таблица 4.1 Определение статических угловых характеристик двигателя

Параметры	Измерения								
$\Theta$ , Град									
P, Вт									
I, А									
M, Н·м									

В случае перехода двигателя M1 в асинхронный режим работы разгрузите 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 4.1., постройте в виде графика угловую характеристику  $P = f(\Theta)$  двигателя M1.

После завершения эксперимента, используя данные таблицы 4.1, вычислите значения электромагнитного момента M двигателя по выражению:

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

где P – активная мощность, потребляемая двигателем M1, Вт;

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

I – фазный ток M1;

$\omega_0$  - угловая частота вращения магнитного поля двигателя M1 ( $\omega_0=157 \text{ c}^{-1}$ )

Полученные результаты занесите в таблицу 4.1.

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

#### 4.3.2 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 возбуждителя G3, изменяйте ток возбуждения  $I_f$  двигателя M1 в диапазоне 0,8...2 А и заносите показания амперметра возбуждителя G3 и амперметра блока P2 в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 Определение статической U-образной характеристики двигателя

Параметры	Измерения								
$I_f, A$									
$I, A$									

В случае перехода двигателя М1 в асинхронный режим работы разгрузите 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 таблицы 4.2 постройте в виде графика U-образную характеристику  $I = f(I_f)$  двигателя М1.

### 4.3.3 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 P1 в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 Регулирование реактивной мощности двигателя изменением возбуждения

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

В случае перехода двигателя М1 в асинхронный режим работы разгрузите 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 4.3, постройте в виде графика зависимость  $Q = f(I_f)$ .

## 5 Контрольные вопросы

- 1) Область применения синхронных трехфазных двигателей?
- 2) Конструкция синхронного двигателя?
- 3) Поясните вид механической характеристики СД; чему равна ее жесткость?
- 4) Поясните применение СД для компенсации реактивной мощности?
- 5) Задачи автоматического регулирования возбуждения СД?

## 5 ПРАВИЛА РАБОТЫ В УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

К работе в лаборатории допускаются лица:

- имеющие, как минимум, III квалификационную группу по технике безопасности;
- изучившие правила по технике безопасности при работе в лаборатории кафедры;
- прослушавшие инструктаж преподавателя и расписавшиеся об этом в специально заведенном на кафедре журнале по технике безопасности.

### Правила по технике безопасности

1) Прежде чем приступить к изучению оборудования, аппаратуры, приборов, предназначенных для проведения опыта, необходимо убедиться в отсутствии напряжения на лабораторном стенде (панели, щите, рабочем месте): автоматический выключатель на главном щите лаборатории должен быть выключен; штепсельные разъемы разомкнуты, а автоматические выключатели или рубильники на рабочем месте также отключены.

2) Если работа ведется с машинами, имеющими вращающиеся части, нужно убедиться, надежно ли они защищены – в случае необходимости принять меры по предотвращению несчастных случаев?

3) Схемы собираются при снятом с установки напряжении.

4) При сборке сложных схем необходимо убедиться, что в каждой параллельной цепи включены элементы аппаратов с достаточным сопротивлением, не допускающим токов короткого замыкания или недопустимо больших токов, способных вывести оборудование из строя.

5) Реостаты необходимо подбирать по допустимому току и допустимой величине сопротивления.

6) Присоединение проводов к контактам аппаратов, щитков и приборов должно быть достаточно плотным и надежным и не превышать двух проводов.

7) Включению установки разрешается производить только после проверки преподавателем собранной схемы.

8) Включение и отключение рубильников, переключателей и автоматов должно производиться решительно, но без удара.

9) После того, как установка включена под напряжение, нельзя присоединять провода в схеме или переставлять оборудование. Операции по пересоединению проводов можно производить только при отключенном напряжении сети и неподвижных машинах.

10) Разбирать схемы можно только после отключения напряжения сети и полной остановки вращающихся машин.

11) При каждом включении схемы включающий должен предупредить об этом работающих с ним товарищей.

При выполнении лабораторных работ обучающийся должен:

- 1) Соблюдать правила по технике безопасности;
- 2) Вычертить принципиальную схему установки и согласовать ее с преподавателем;
- 3) Собрать схему и убедиться в ее правильности. Включить схему с разрешения преподавателя;
- 4) Результаты опытов представить преподавателю для утверждения. Экспериментальная часть считается выполненной после утверждения результатов;
- 5) По окончании работы разобрать схему, привести в порядок рабочее место, сдать оборудование, методические указания, таблицы, приборы.

## **6 ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА**

- 1) Паспортные данные электрических машин, аппаратов и измерительных приборов, применяемых при выполнении работы.
- 2) Электрические схемы опытов, выполненные с соблюдением положений стандартов.
- 3) Таблицы результатов измерений и расчетов.
- 4) Примеры расчетов в нескольких точках различных характеристик.
- 5) Необходимые по программе механические и электромеханические характеристики, диаграммы, построенные по результатам опытов и расчетов.
- 6) Описание физической сути процессов, происходящих при пуске, торможении и реверсировании двигателя, при переходе с одной скорости на другую.
- 7) Выводы по проделанной работе.
- 8) Отчет представляется каждым обучающейся на следующем занятии.
- 9) При защите отчета учитываются: знание цели, физической сущности, методики выполнения работы, использованных машин и оборудования и может объяснить и проанализировать полученные результаты.
- 10) Обучающийся, выполнивший все работы и сдавший отчеты по ним, получает зачет по лабораторной части курса и допускается к сдаче экзамена.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов, М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учебник для студентов вузов : доп. М-вом образования РФ / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. - 3-е изд., испр. - Москва : Издательский центр "Академия", 2007. - 576 с. – Режим доступа: <http://biblio.bsau.ru/metodic/18244.djvu>
2. Аипов, Р. С. Автоматизированный электропривод [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. 110302 "Электрификация и автоматизация сельского хозяйства" / Р. С. Аипов, С. М. Галеев, А. В. Линенко ; Башкирский ГАУ. - Уфа : БГАУ, 2008. - 171 с.
3. Москаленко В. В. Системы автоматизированного управления электропривода : учебник / В. В. Москаленко. - Москва : ИНФРА-М, 2007.
4. Оськин, С. В. Автоматизированный электропривод [Текст] : учебник для студентов высших учебных заведений по направлению "Агроинженерия" / С. В. Оськин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Краснодар : Крон, 2014. - 511 с.
5. Ильинский Н.Ф., Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.Ф. Ильинский, В.В. Москаленко. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008. – 208с.
6. Епифанов, А. П., Электропривод в сельском хозяйстве: учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по специальности "Электрификация и автоматизация сельского хозяйства" / А. П. Епифанов, А. Г. Гущинский, Л. М. Малайчук. - . – Санкт-Петербург : Лань, 2010. - 223 с.
7. Белов, М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов [Текст] : учебник для студ. вузов, обуч. по спец. "Электропривод и автоматика пром. установок и технол. комплексов" / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. - Москва : Академия, 2004. - 576 с.
8. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации [Текст] : учебное пособие для студ. вузов, обучающихся по спец. 140604 "Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов" направления подготовки 140600 "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" : рек. УМО по образованию / [М. П. Белов и др.] ; под ред. В. А. Новикова, Л. М. Чернигова. - Москва : Академия, 2006. - 367 с.