

**Федеральное агентство по образованию**

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**



Кафедра электротехники и электроники

# **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ЭЛЕКТРОПРИВОД**

## **Часть 2**

Методические указания  
к лабораторным работам  
по курсу «Электротехника и электроника»  
для студентов всех специальностей

Санкт-Петербург 2006

УДК 621.3

**Батяев А.А., Новотельнова А.В.** Электрические машины и электропривод. Часть 2: Метод. указания к лабораторным работам по курсу «Электротехника и электроника» для студентов всех спец. / Под ред. Л.П. Булата. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. – 31 с.

Приводится описание трех лабораторных работ, выполняемых студентами при изучении курса «Электротехника и электроника».

Рецензент

Канд. техн. наук, доц. Ю.А. Рахманов

Рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

© Санкт-Петербургский государственный  
университет низкотемпературных  
и пищевых технологий, 2006

## **ВВЕДЕНИЕ**

В методические указания включено описание трех лабораторных работ, выполняемых студентами при изучении курсов «Электротехника и электроника», «Электротехника и электрооборудование транспортно-технологических машин», «Техническая диагностика электрооборудования транспортных и холодильных установок».

Лабораторная работа № 14 посвящена диагностике асинхронного двигателя. В процессе выполнения работы студенты получают навыки диагностики и подключения асинхронных двигателей.

В работах № 15а и 15б студенты изучают частотно-управляемый асинхронный электропривод на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, исследуют способы определения и расчета его основных параметров и рабочих характеристик.

### **ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. К работе на стенде допускаются лица, прошедшие инструктаж и получившие зачет по технике безопасности для электроустановок до 1000 В.

2. Инструктаж по технике безопасности перед каждой лабораторной работой проводит преподаватель, ведущий эти занятия в группе.

3. Напряжение, подводимое к стенду, не должно превышать 220 В. О включении стенда сигнализирует загорание лампы на распределительном щите и на самом стенде.

4. Сборка электрической схемы проводится только при выключенном напряжении питания и отключенном автоматическом выключателе.

5. Проверку электрической цепи на лабораторной установке перед включением стенда под напряжение проводит инженер. Разрешение на включение стенда под напряжение и проведение опытов дает преподаватель, ведущий занятия.

6. При проведении опытов не допускаются превышение номинальных режимов оборудования и отклонение от рекомендованных условий нагружения электрических машин.

7. Все переключения в схемах осуществляются при полной остановке двигателей и выключенном питании стенда.

8. После запуска двигателей необходимо соблюдать особую осторожность: не касаться руками или какими-либо предметами вращающихся частей.

9. При измерении частоты вращения тахометром ИТ5-Ч не касаться вращающихся частей корпусом тахометра.

10. Если обнаружена неисправность в электрической схеме, следует немедленно отключить ее от сети и доложить об этом преподавателю.

11. При случайном попадании человека под напряжение необходимо немедленно освободить его от воздействия электрического тока, отключив соответствующий выключатель. При потере сознания и остановке дыхания необходимо освободить пострадавшего от стесняющей одежды и делать искусственное дыхание до прибытия врача.

## Лабораторная работа № 14

### ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

#### Цель работы

1. Ознакомиться с общими принципами диагностики асинхронного двигателя.
2. Приобрести практические навыки по проверке маркировки и схем соединения обмоток статора.
3. Научиться определять основные параметры и характеристики асинхронного двигателя.
4. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и практических занятиях.

#### Общие сведения

Основным элементом, определяющим характеристики и нормальную работу асинхронного двигателя, является обмотка статора. Статорная обмотка односкоростного асинхронного двигателя обычно имеет шесть выводов, соответствующих началам и концам фазных обмоток (рис. 1).

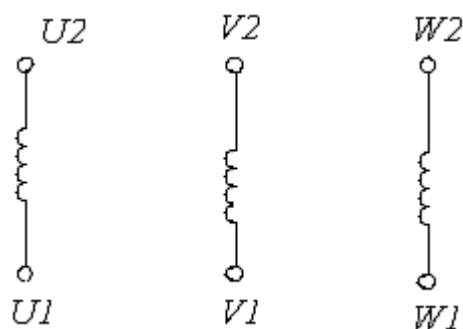


Рис. 1. Схема обмотки односкоростного двигателя

В табл. 1 приводятся обозначения этих выводов в соответствии с ГОСТ 26772–85.

Таблица 1

Наименование фазы	Обозначение выводов	
	Начало	Конец
Первая	$U1$	$U2$
Вторая	$V1$	$V2$
Третья	$W1$	$W2$

Обычно выводы всех фаз статорной обмотки присоединяются к выводам клеммной коробки, как указано на рис. 2 а, б. Приведенная конструкция дает возможность получить соединение в *звезду* при горизонтальном расположении перемычек (высокое напряжение) и соединение в *треугольник* при их вертикальном расположении (низкое напряжение).

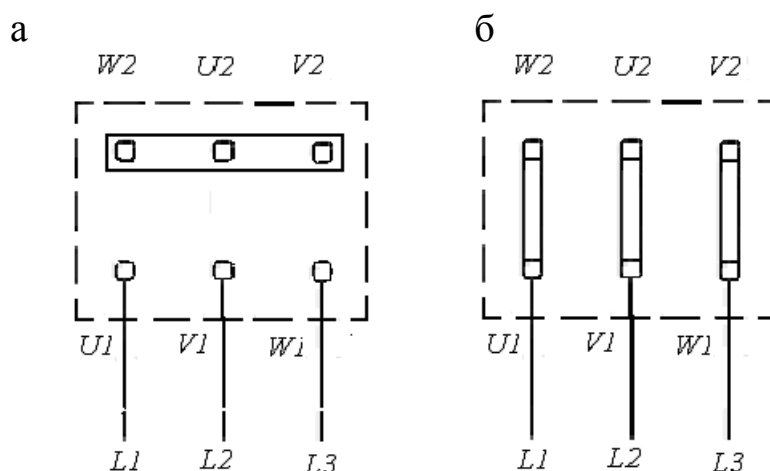


Рис. 2. Схема для соединения обмоток статора на панели асинхронного двигателя:  
а – в звезду; б – в треугольник.

Правильность соединения соответствующих выводов статорных обмоток определяет нормальный режим работы электродвигателя. Поэтому после всех профилактических работ с электродвигателем (или при отсутствии маркировки) требуется маркировать обмотки и проверять их взаимную согласованность. Согласованность обмоток у машин средней и большой мощности рекомендуется проверять даже при наличии заводской маркировки.

Предварительно находятся парные выводы каждой фазы.

Затем определяют начала и концы фазных обмоток. После этого, не включая двигатель, предварительно оценивают с точностью до 5 % (с учетом скольжения) номинальную частоту вращения. Для этого определяют число фиктивных пар полюсов  $p$  и частоту вращения магнитного поля статора  $n_1$ , об/мин:

$$n_1 = \frac{60f}{p}.$$

Тогда частота вращения ротора

$$n_2 = n_1 (1 - s),$$

где  $s$  – скольжение, величина которого может быть предварительно равна  $s = 0,05$ .

### Программа работы

1. Для заданного асинхронного электродвигателя найти парные выводы каждой фазы.
2. Определить полярность выводов одним из двух способов – на постоянном и переменном токе.
3. Определить число фиктивных полюсов обмотки статора.
4. На основании пп.1 и 2 собрать схему включения двигателя, соответствующую напряжению на лабораторном стенде, и произвести пробный запуск. Оценить величину тока холостого хода.
5. Составить отчет о проделанной работе с соответствующими выводами о параметрах диагностируемого двигателя.

### Порядок выполнения работы

1. С помощью тестера определить парные выводы каждой обмотки и объединить их с помощью изоляционной ленты. Для этого следует установить центральный переключатель тестера в положение **ОНМ × 1К** и подключить поочередно концы обмоток до получения на шкале нулевых показаний.
2. Произвести проверку маркировки выводов фазных обмоток.
  - 2.1. Использование дополнительного источника постоянного тока (рис. 3).

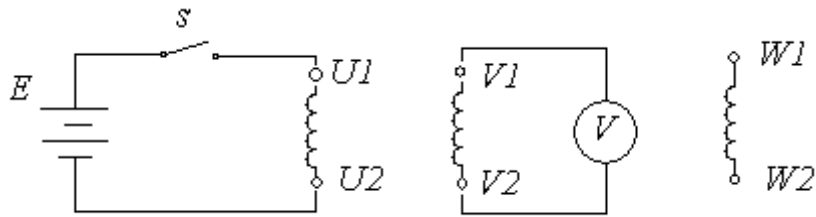


Рис. 3. Проверка маркировки выводов обмотки статора с помощью источника постоянного тока.

Одна из обмоток статора принимается за основную, маркируются ее выводы  $U1-U2$  и собирается схема (рис. 3). Батарея  $E$  включается импульсно выключателем  $S$  в цепи этой фазы, а к другим фазам поочередно подсоединяется тестер с положением центрального переключателя  $DC-V-10$ . Путем изменения присоединения выводов второй и третьей обмоток подбирается такое включение тестера, при котором в момент подачи напряжения от батареи стрелка прибора дает отклонение вправо. В этом положении схемы против плюса батареи и минуса тестера находятся начала фазных обмоток ( $U1, V1, W1$ ). С помощью специальных бирок следует зафиксировать эти выводы. Тогда оставшиеся три вывода будут являться концами фаз ( $U2, V2, W2$ ).

2.2. Проверка маркировки выводов с использованием источника переменного тока пониженного напряжения (рис. 4).

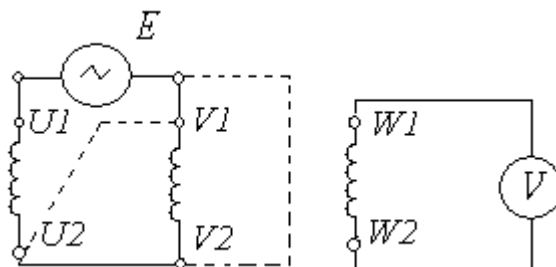


Рис. 4. Проверка маркировки выводов обмотки статора с помощью источника переменного тока

Для этого две произвольные фазы статорной обмотки соединяются последовательно и включаются на пониженное напряжение переменного тока. Пониженное напряжение используется для ограничения тока обмоток при неподвижном роторе. В лабораторных условиях это напряжение (30 – 50 В) получают с помощью автотрансфор-



матора. Затем на третью свободную фазу подключают тестер с установленным центральным переключателем в положении **АС–V–50**.

Если первые две фазы соединены одноименными выводами (например, концами, как показано на рис. 4) сплошной линией, то тестер покажет отсутствие напряжения, поскольку результирующий магнитный поток встречно включенных обмоток равен 0.

При соединении двух фаз разноименными (конец–начало) зажимами (пунктирная линия на рис. 3) тестер покажет наличие напряжения.

Аналогично определению взаимного соответствия первых двух фаз производится маркировка выводов третьей фазы.

### 3. Определение числа полюсов обмотки статора.

Измерение числа полюсов обмотки статора необходимо для установления частоты вращения магнитного поля или синхронной скорости ротора  $n_1$ .

Этот опыт производится с использованием тестера при положении центрального переключателя **DC–mA–0,5**. Тестер подключается к выводам одной или двух фаз. При проворачивании рукой ротора двигателя под действием остаточного магнетизма в обмотке статора возникнет ЭДС, вызывающая периодическое отклонение стрелки тестера. Число отклонений стрелки в одну сторону будет равно числу полюсов одной полярности, прошедших мимо данной фазы статора.

Во избежание ошибки рекомендуется выполнить 10 оборотов вала ( $N = 10$ ) и посчитать соответствующее число  $m$  отклонений стрелки тестера в одну сторону. Например, пусть число отклонений  $m = 30$ . Тогда число пар полюсов двигателя

$$p = \frac{m}{N} = \frac{30}{10} = 3,$$

а синхронная скорость

$$n_1 = 60 f/p = 3000/3 = 1000 \text{ об/мин.}$$

### 4. Пробный запуск диагностируемого электродвигателя.

Пробный запуск преследует решение следующих задач:

– проверка правильности монтажа обмоток электродвигателя (звезда или треугольник) в соответствии с величиной напряжения, принятой в лабораторной установке;

– проверка разбега двигателя до частоты вращения, близкой к синхронной  $n_1$ , и оценка тока холостого хода (до 30 % от номинального  $I_n$ ).

Для запуска электродвигателя собирается схема в соответствии с рис. 5.

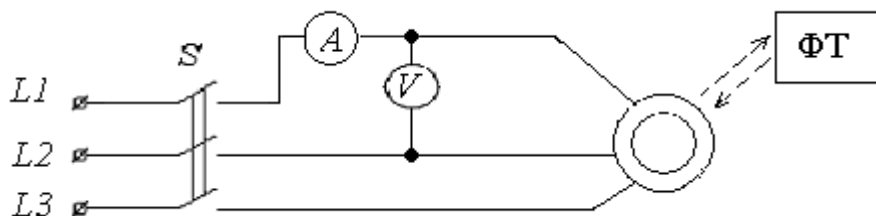


Рис. 5. Схема проведения опыта пробного включения двигателя на холостом ходу

После включения выключателя  $S$  убедиться в нормальной работе двигателя, для чего:

- с помощью тахометра ИТ5-Ч измерить частоту вращения ротора;
- измерить ток холостого хода.

Измерение частоты вращения осуществляется настройкой тахометра на метку, закрепленную на валу ротора. Расстояние от излучателя тахометра до метки не должно превышать 200 мм. Включение (отключение) тахометра производится кратковременным нажатием боковой кнопки. При этом на цифровом дисплее появляется буква  $F$  и загораются индикаторные светодиоды красного и зеленого цветов. Плавно ориентируя излучатель тахометра по отношению к вращающейся метке, добиться одновременного свечения светодиодов: красного – непрерывно, а зеленого – с периодическим миганием. При этом на дисплее отображается частота вращения в оборотах в минуту (об/мин). Показания тахометра и амперметра занести в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные величины		Опытные величины	
$I, A$	$n_1, \text{об/мин}$	$I, A$	$n_2, \text{об/мин}$

5. Предъявить результаты опытов преподавателю и с его разрешения разобрать схему и привести рабочее место в исходное состояние.

## **Содержание отчета**

1. Методика определения парных концов фазных обмоток асинхронного двигателя (АД).
2. Схемы и описание опытов по определению начал и концов фаз обмоток статора АД.
3. Схема и результаты пробного включения АД на холостом ходу.

## **Контрольные вопросы при допуске к лабораторной работе**

1. Цель и программа работы.
2. С какой целью производят диагностику асинхронных двигателей?
3. Как обозначаются начала и концы обмоток статора в соответствии с ГОСТ 26772–85?
4. Как маркируются начала и концы обмоток статора?
5. Как определить число фиктивных магнитных полюсов статора?
6. Как осуществляется проверка маркировок выводов обмотки статора с помощью источника переменного тока?
7. Как производится проверка маркировок выводов обмотки статора с помощью источника постоянного тока?
8. С какой целью производится опыт пробного включения двигателя на холостом ходу?

## Лабораторная работа № 15а

# ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

### Цель работы

1. Изучить устройство и назначение основных элементов схемы частотного преобразователя.
2. Приобрести практические навыки по использованию частотного преобразователя в регулируемом электроприводе.
3. Изучить методику определения частотных характеристик преобразователя частоты (ПЧ).
4. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и практических занятиях.

### Общие сведения

В настоящее время для регулирования производительности технологических механизмов широкое распространение получил управляемый асинхронный электропривод, основанный на частотном регулировании скорости асинхронных электродвигателей (АД).

При реализации этого способа управления используется зависимость синхронной скорости  $n_1$  (скорости вращения магнитного поля статора) от частоты источника питания  $f_n$ :

$$n_1 = \frac{60f_n}{p},$$

где  $p$  – число пар фиктивных полюсов.

Частота вращения ротора двигателя не совпадает с частотой вращения магнитного поля. Она всегда несколько меньше и определяется выражением

$$n = n_1(1 - s),$$

где  $s$  – скольжение.

Скольжение зависит от нагрузки на двигатель. При увеличении нагрузки скольжение также увеличивается, однако величина его в диапазоне рабочих нагрузок остается малой. При номинальном моменте скольжение составляет  $s = 0,03-0,12$ .

Чтобы изменить частоту вращения асинхронного двигателя, изменяют частоту напряжения  $f_{п}$ , питающего его статорные обмотки.

Для регулирования частоты в современном электроприводе широко применяют преобразователи частоты (ПЧ), которые преобразуют переменный ток с постоянными значениями  $U_c, f_c$  в переменный ток с регулируемыми значениями  $U_{п}, f_{п}$ .

В том случае, если напряжение меняется прямо пропорционально частоте (магнитный поток остается примерно постоянным), регулировочные характеристики выглядят так, как это показано на рис. 1, а. При этом критический (максимальный) момент  $M_k$  остается неизменным. Если напряжение изменяется незначительно, то характеристики имеют вид, представленный на рис. 1, б. Тогда критический момент изменяется, но остается примерно постоянной мощность.

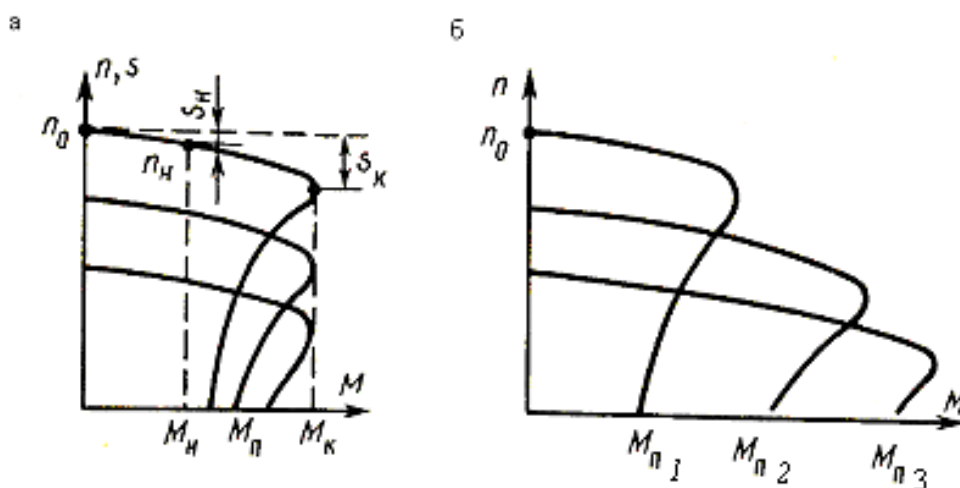


Рис.1. Механические характеристики АД при разных способах регулирования частоты:

а – при регулировании с постоянным моментом; б – при регулировании с постоянной мощностью;  $M_n, n_n, s_n$  – номинальные момент, мощность и скольжение;  $M_k, s_k$  – критические момент и скольжение;  $M_{п}$  – пусковой момент

Основными достоинствами современных ПЧ являются:

- возможность плавной регулировки в широком диапазоне частоты вращения с сохранением максимального момента;
- программируемый (за определенное время) плавный пуск двигателей с автоматическим ограничением пускового тока, благодаря чему снижаются ударные механические нагрузки и увеличивается срок службы подшипников двигателя и механизма в целом;

- программируемая интенсивность электрического торможения;
- реализация энергосберегающей функции;
- повышение надежности системы управления асинхронными двигателями и снижение ее массогабаритных показателей в сравнении с управляющими релейно-контакторными схемами и т. д.

На практике использование ПЧ при управлении вентиляторами и насосами позволяет экономить до 60 % электроэнергии, до 25 % воды и до 10 % тепла.

На рис. 2 представлена функциональная схема преобразователя частоты.

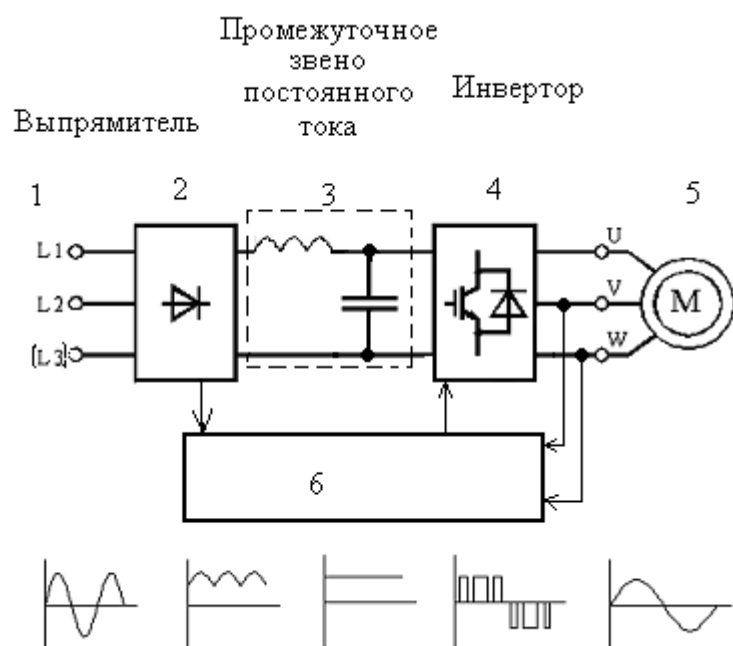


Рис. 2. Функциональная схема преобразователя частоты

Питание на ПЧ подается от трехфазной или однофазной сети промышленной частоты (1).

Неуправляемый диодный выпрямитель (блок 2) обеспечивает питание инвертора (блок 4) и цепей управления.

Инверторный блок (блок 4), выполненный на *IGBT*-модуле, формирует из постоянного напряжения блока 2 трехфазное выходное напряжение посредством широтно-импульсного модулирования (ШИМ). В обмотках двигателя формируется (блок 5) синусоидальный ток соответствующей частоты и напряжения (рис. 3)

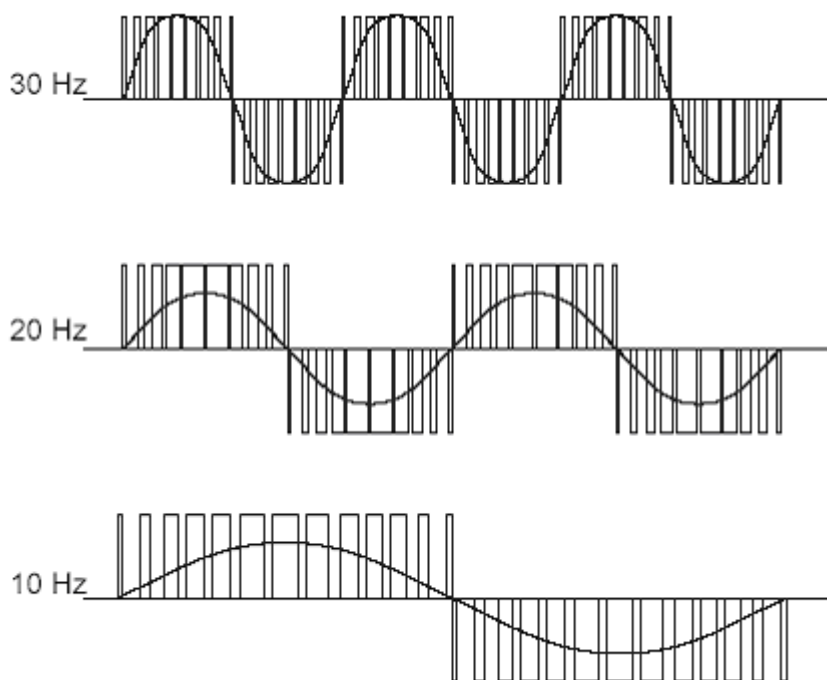


Рис. 3. Временные зависимости выходного напряжения ШИМ-преобразователя для различных частот, задаваемых с помощью преобразователя частоты

Микроконтроллер (блок 6) обеспечивает формирование алгоритма ШИМ-управления по программно заданному закону.

### **Преобразователь частоты ПЧ-4501К**

Внешний вид лицевой панели корпуса преобразователя частоты ПЧ-4501К приведен на рис. 4.

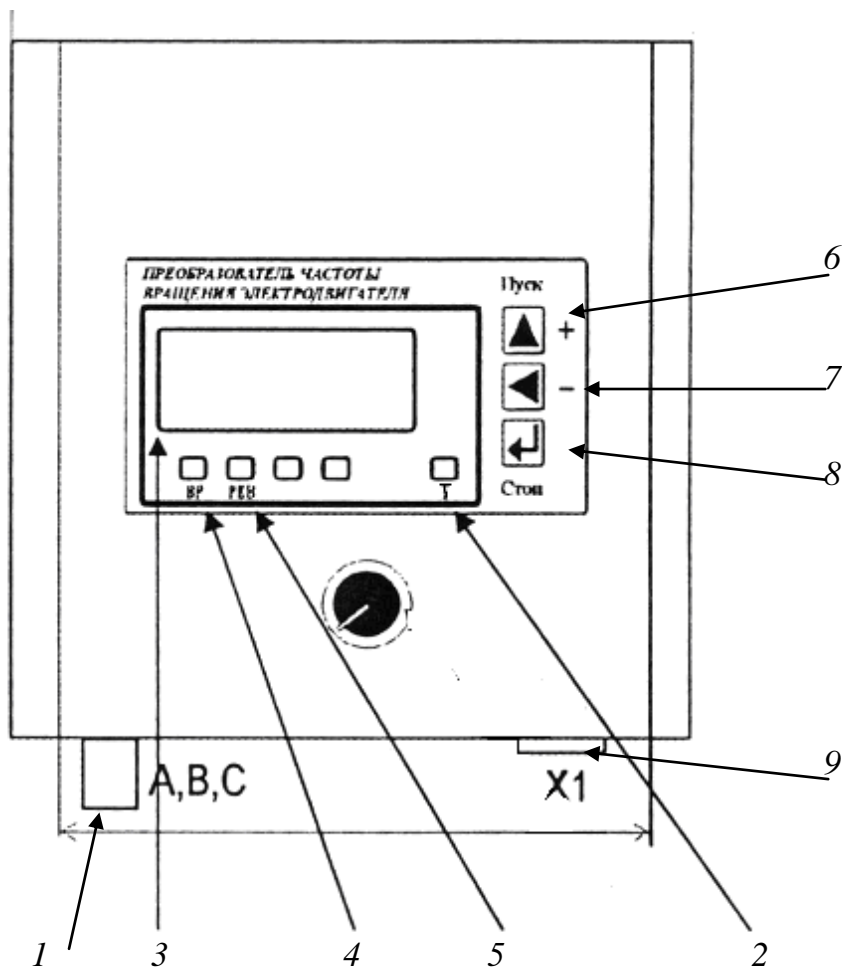


Рис. 4. Внешний вид лицевой панели преобразователя частоты ПЧ-4501:  
 1 – разъем питания 220 В, 50 Гц; 2 – светодиодный индикатор – Т, сигнализирующий о подаче на ПЧ напряжения питания 220 В, 50 Гц; 3 – индикатор выходной частоты; 4 – светодиодный индикатор – ВР (вращение), сигнализирующий о включении выходного каскада, т. е. инвертора, и наличии на выходе ПЧ трехфазного напряжения заданной частоты; 5 – светодиодный индикатор – РЕВ, сигнализирующий об изменении направления вращения, т. е. реверсе; 6 – кнопка «Пуск» (▲+); 7 – кнопка «Ревверс» (◀-); 8 – кнопка «Стоп» (◀↓); 9 – трехфазный выход ПЧ

Кнопка «Стоп» выполняет также функцию “Enter” при вводе в ПЧ начальных параметров работы привода.



## Порядок работы с преобразователем частоты

Работа с ПЧ начинается с установки начальных параметров: исходной частоты на выходе, направления вращения, интенсивности разгона и торможения и т. д.

Установка параметров начинается (после включения ПЧ в сеть) с введения пароля «1125» и его подтверждения нажатием кнопки «Стоп». Для этого после подачи на ПЧ питания (загорается светодиод Т) и появления на цифровом индикаторе “Stop” нажимается кнопка (←) на 1–2 с до появления на индикаторе (----). После отпускания кнопки прибор переходит в режим установки исходных параметров. Порядок ввода и диапазоны допустимых значений параметров приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер параметра	Наименование	Предельные значения	Комментарии	Заводская установка
1	Начальная частота вращения	0020–0120	Начальное значение частоты на выходе преобразователя при нажатии кнопки «Пуск»	0050
2	Темп разгона	000,0–999,9	Время (с), за которое происходит увеличение частоты на 1 Гц	000,1
3	Темп торможения	000,0–999,9	Время (с), за которое происходит уменьшение частоты на 1 Гц	000,1
4	Код способа управления ПЧ	0000 0001	Потенциометром Кнопками «+» и «-»	0000
5	Код включения торможения	0000 0001	Торможение выключено Торможение включено	0000
6	Код включения внешнего управления	0000 0001	Управление выключено Управление включено	0000

**Примечание:** если во время набора соответствующей цифры произошла ошибка (например, превышение заданной величины), следует продолжить набор до 9, а затем вновь установить нужное значение.

### Схема лабораторной установки

На рис. 5 представлена электрическая схема включения преобразователя частоты и асинхронного двигателя.

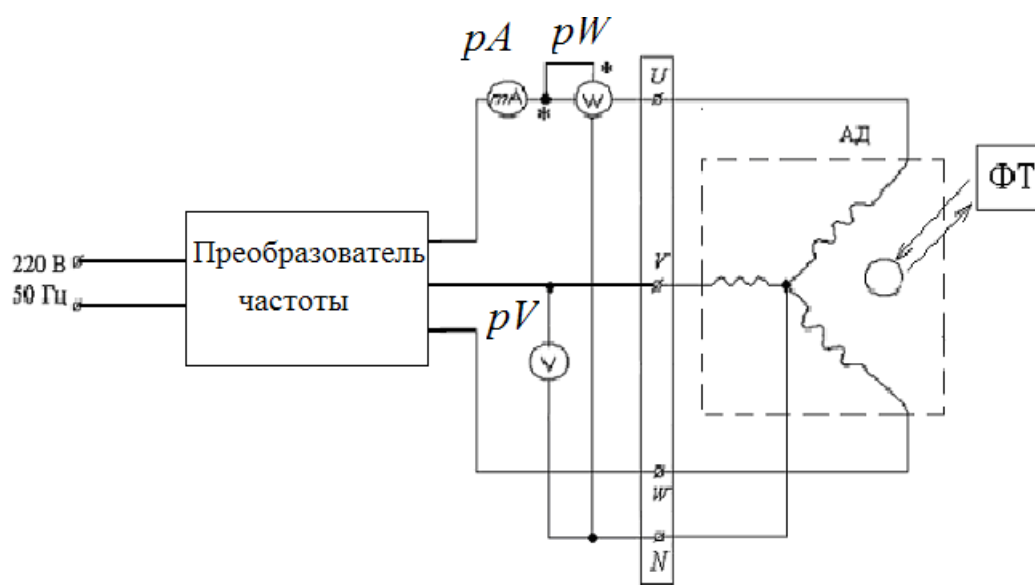


Рис. 5. Схема подключения преобразователя частоты к асинхронному двигателю

Схема содержит: преобразователь частоты, амперметр  $pA$ , вольтметр  $pV$ , включенный на линейное напряжение, и ваттметр  $pW$ , измеряющий мощность в одной фазе асинхронного двигателя. Асинхронный электродвигатель типа АОЛ 21/4 трехфазный мощностью 270 Вт, напряжением  $U_n = 220/380$  В, величиной тока  $I_n = 1,43/0,83$  А, номинальной частотой вращения  $n_n = 1400$  об/мин,  $\cos \varphi = 0,75$ , КПД  $\eta = 66\%$ .

**Примечание.** Измерение частоты вращения АД  $n_2$  осуществляется настройкой тахометра на метку, закрепленную на валу ротора. Расстояние от излучателя тахометра до метки не должно превышать 200 мм. Включение (отключение) тахометра производится кратковременным нажатием боковой кнопки. При этом на цифровом дисплее появляется буква  $F$  и загораются индикаторные светодиоды красного и зеленого цветов. Ориентируя излучатель тахометра по отношению к вращающейся метке, следует добиться одновременного свечения светодиодов: красного – непрерывно и зеленого – непрерывно или с периодиче-

ским миганием. При этом на дисплее отображается частота вращения в оборотах в минуту (об/мин).

*Правильность выполненных измерений подтверждает соответствие (близкое значение) измеренной и синхронной частоты вращения  $n_1$  (например, 1500 об/мин для  $f_{\Pi} = 50$  Гц, 900 об/мин для  $f_{\Pi} = 30$  Гц, 600 об/мин для  $f_{\Pi} = 20$  Гц).*

Синхронная скорость вращения исследуемого АД ( $p = 2$ ) определяется выражением

$$n_1 = \frac{60 f_{\Pi}}{p} = \frac{60 f_{\Pi}}{2} = 30 f_{\Pi}, \text{ об/мин,}$$

где  $f_{\Pi}$  – частота источника питания.

### Порядок выполнения работы

1. Собрать схему и предъявить ее для проверки инженеру.
2. Включить ПЧ, в сеть подать питание. При этом на ПЧ загорается светодиод Т и на цифровом индикаторе появляется надпись “Stop”.

Нажать на кнопку ( $\leftarrow$ ) на 1–2 с до появления на индикаторе (----). После отпускания кнопки прибор переходит в режим установки исходных параметров.

3. Установить параметры.

- 3.1. Ввести пароль «1125».

Ввод пароля начинается с младшего разряда (последней цифры 5). С помощью кнопки «Пуск» ( $\blacktriangle$ +) набирается цифра 5.

Если во время набора соответствующей цифры произошла ошибка (например, превышение заданной величины), следует продолжить набор до 9, а затем вновь установить нужное значение.

Переход в старший (следующий) разряд осуществляется с помощью кнопки «Реверс» ( $\blacktriangleleft$ ).

Ввод пароля завершается нажатием кнопки «Стоп» ( $\leftarrow$ ).

4. Запрограммировать преобразователь частоты на определенный режим работы:

- начальную частоту –  $f_{\Pi} = 20$  Гц;
- темп разгона до заданного значения частоты 0,5 Гц/с;
- темп торможения 0,5 Гц/с;

- способ управления – кнопками «+» и «-» (код 0001);
- наличие электрического торможения (код 0000);
- отсутствие внешнего управления (код 0000).

5. Кнопкой «Пуск» запустить асинхронный двигатель и записать результаты наблюдений в отчет.

6. Изменяя частоту с помощью кнопки «Пуск» (▲+), снять частотную характеристику ПЧ при холостом ходе двигателя. Полученные данные занести в табл. 2.

Таблица 2

Номер опыта	Измерено					Вычислено				
	$f_n$ , Гц	$I_{10}$ , А	$U_{10}$ , В	$P_\phi$ , Вт	$n_{20}$ , об/мин	$S$ , ВА	$P_0$ , Вт	$\cos \varphi$	$\Delta P_{\text{пер}}$ , Вт	$\Delta P_{\text{пост}}$ , Вт
1	20									
2	30									
3	40									
4	50									
5	60									
6	70									

После выполнения всех измерений предъявить результаты преподавателю.

7. Запустить двигатель в противоположном направлении. Для этого остановить двигатель кнопкой «Стоп». Нажать на кнопку «Реверс» (◀-) до загорания индикатора РЕВ.

8. На основании выполненных измерений вычислить:
- полную мощность асинхронного двигателя, ВА

$$S = 3I_{10}U_{10};$$

- активную мощность асинхронного двигателя, Вт

$$P_0 = 3P_\phi;$$

- коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P_0}{S};$$

– потери в обмотках статора двигателя (переменные потери), Вт

$$\Delta P_{\text{пер}} = 3 I_0^2 R_{\phi},$$

где  $R_{\phi}$  – фазное сопротивление обмотки статора (значение  $R_{\phi}$  указано на стенде);

– постоянные потери в двигателе для каждой частоты питания  $f_{\text{п}}$  (потери в стали магнитопровода и механические потери), Вт

$$\Delta P_{\text{пост}} = P_0 - \Delta P_{\text{пер}};$$

– механические потери на трение  $P_{\text{мех}}$  и потери в стали магнитопровода  $P_{\text{ст}}$  при различных частотах, Вт

$$P_{\text{мех}} = P_{\text{ст}} = \frac{\Delta P_{\text{пост}}}{2},$$

где  $\Delta P_{\text{пост}} = P_{\text{тр}} + P_{\text{доб}} + P_{\text{ст}} = P_{\text{мех}} + P_{\text{ст}}$ .

9. Оценить величину  $I_{\text{пуск}}$  при пуске двигателя с преобразователем частоты, для этого установить темп разгона 1 Гц/с и запустить АД.

Сравнить полученное значение с  $I_{\text{пуск}}$  при пуске без преобразователя частоты.

10. Построить графики  $I_{10} = f(f_{\text{п}})$ ,  $\cos \varphi_{10} = f(f_{\text{п}})$ ,  $U_{10} = f(f_{\text{п}})$ ,  $n_{20} = f(f_{\text{п}})$  и  $P_{\text{ст}}(f_{\text{п}})$ .

### Содержание отчета

В отчете должны быть представлены:

1. Номинальные данные асинхронного двигателя преобразователя частоты и электроизмерительных приборов.
2. Электрическая схема лабораторной установки.
3. Результаты программирования преобразователя частоты.
4. Таблица с результатами измерений и вычислений.
5. Графики зависимостей  $I_{10} = f(f_{\text{п}})$ ,  $\cos \varphi_{10} = f(f_{\text{п}})$ ,  $U_{10} = f(f_{\text{п}})$ ,  $n_{20} = f(f_{\text{п}})$  и  $P_{\text{ст}}(f_{\text{п}})$  и их анализ.
6. Используемые для расчетов формулы.
7. Краткие выводы о проделанной работе.

## Контрольные вопросы

1. Из каких основных блоков состоит современный преобразователь частоты?
2. Каково назначение инвертора в преобразователе частоты и в чем заключается принцип его работы?
3. Как и какие функции подлежат программированию в преобразователе частоты ПЧ-4501?
4. Как осуществляется электрическое торможение электродвигателя в преобразователях частоты?
5. Из чего складываются постоянные потери в асинхронном двигателе?
6. Зависят ли постоянные потери в асинхронном двигателе от частоты преобразователя?
7. Чем определяется величина тока холостого хода АД и как она зависит от частоты источника питания?

## Лабораторная работа № 15б

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

#### Цель работы

1. Изучить принцип работы частотно-регулируемого асинхронного электропривода.
2. Приобрести практические навыки по определению энергетических характеристик регулируемого электропривода с преобразователем частоты.
3. Снять и построить механические характеристики регулируемого электропривода.
4. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и практических занятиях.

#### Общие сведения

В лабораторной работе № 15а были изучены общие свойства и характеристики преобразователя частоты ПЧ-4501К. Целью настоящей работы является изучение частотно-регулируемого электропривода, состоящего из преобразователя частоты, трехфазного асинхронного электродвигателя и калиброванного нагрузочного устройства.

Эффективное использование регулируемого электропривода в технологических установках пищевой и холодильной промышленности требует знания его энергетических и регулировочных характеристик. Для решения этой задачи необходимо уметь экспериментально определять и анализировать механические характеристики двигателей.

В настоящей работе студентам предлагается совокупность механических характеристик асинхронного двигателя при различных частотах  $f_n$  питающего напряжения.

#### Схема лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 1) включает трехфазный асинхронный двигатель типа АОЛ 21/4 мощностью 270 Вт, номинальным напряжением  $U_n = 220/380$  В, величина номинального тока  $I_n = 1,43/0,83$  А, номинальная частота вращения  $n_{2n} = 1400$  об/мин,  $\cos \varphi = 0,75$ , КПД

$\eta = 66 \%$ . Обмотки статора двигателя соединены звездой и подключены к клеммам  $U$ ,  $V$ ,  $W$  и  $N$  на передней панели стенда.

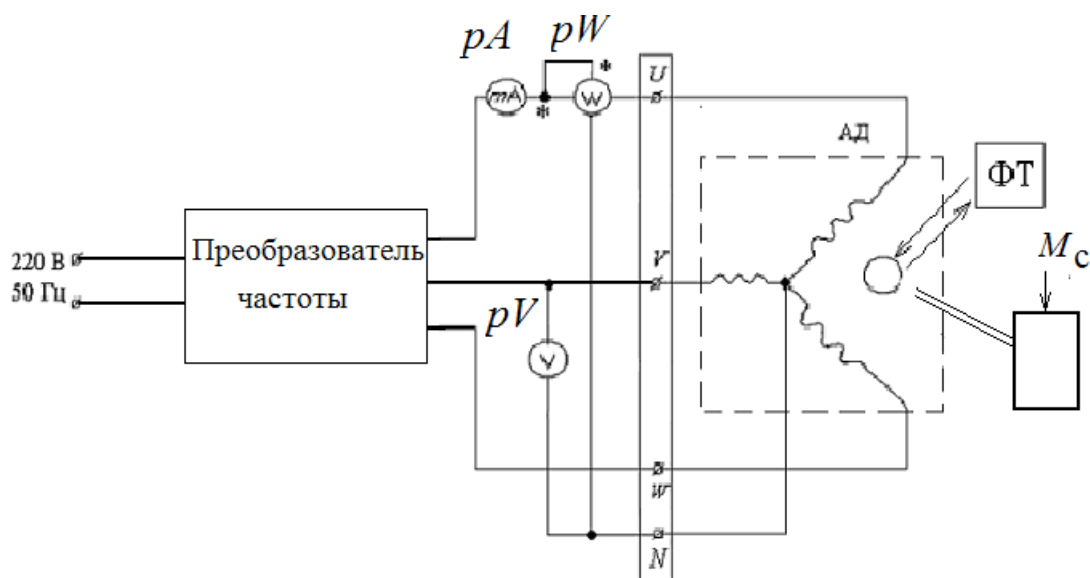


Рис. 1. Схема лабораторной установки

Питание двигателя осуществляется с помощью преобразователя частоты ПЧ-4501К. Преобразователь частоты ПЧ-4501К включают в однофазную сеть напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

Измерение параметров производят с помощью комплекта контрольно-измерительных приборов, включающего амперметр на 1А, вольтметр на 150 В и ваттметр на 150 В и 1А; нагрузочное устройство на валу электродвигателя с калиброванными грузами массой от 0,5 до 3 кг. Измерение частоты вращения производится электронным тахометром ИТ5-Ч.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с электрической схемой, приборами, аппаратами и другим оборудованием экспериментальной установки и записать их технические данные в отчет.
2. Собрать электрическую схему установки (рис. 1) и предъявить для проверки инженеру.
3. После проверки правильности соединений и инструктажа о порядке работы с преобразователем частоты ПЧ студенты получают разрешение на работу с установкой.



Порядок, значение и способ ввода параметров преобразователя частоты описаны в лабораторной работе № 15а. Ими следует руководствоваться в настоящей работе.

**Примечание:** преподаватель может внести уточнения по величинам частот и количеству снимаемых механических характеристик.

4. Провести испытание регулируемого электропривода и результаты занести в табл. 1. Нагрузка на валу создается с помощью подвешиваемых к шкиву калиброванных грузов массой  $m$ . Первый опыт производится при отсутствии нагрузки на валу ( $m = 0$ ), т. е. в режиме холостого хода ( $I_{10}, U_{10}, P_{\phi 0}$ ).

Затем двигатель останавливается, изменяется величина подвешиваемого груза и производится следующий запуск и измерение фазных значений тока  $I_1$ , напряжения  $U_1$  и мощности  $P_{\phi}$ .

5. Результаты измерений для каждого опыта занести в табл. 1.

Таблица 1

Измеряемые величины					Вычисляемые величины										
$f_{np}$ , Гц	$m$ , кг	$I_1$ , А	$U_1$ , В	$P_{\phi}$ , Вт	$n_2$ , об/мин	$S$ , ВА	$P_1$ , Вт	$\cos \varphi$	$P_{ст}$ , Вт	$P_{м1}$ , Вт	$P_{эм}$ , Вт	$M$ , Нм	$P_2$ , Вт	$\eta$ , %	$s$ , отн. ед.
30	0														
	1														
	2														
	3														
50	0														
	1														
	2														
	3														
60	0														
	1														
	2														

6. Используя экспериментально полученные данные, следует вычислить следующие величины:

– полную мощность, потребляемую двигателем, ВА

$$S = 3 U_1 I_1;$$

– активную мощность, Вт

$$P_1 = 3 P_\phi;$$

– коэффициент мощности  $\cos \varphi$

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S};$$

– потери в стали магнитопровода принимаются равными половине постоянных потерь на холостом ходу

$$P_{ст} = P_{мех} = 0,5(P_{10} - 3 I_{10}^2 R_\phi),$$

где  $R_\phi$  – фазное сопротивление обмотки статора (значение  $R_\phi$  указано на стенде),

$$P_{10} = 3 P_{\phi 0};$$

– скольжение, относительных единиц

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1},$$

где  $n_1 = 30 \cdot f_n$ ;  $n_2$  – частота вращения ротора, измеренная тахометром;

– потери мощности в обмотке статора (переменные потери)

$$P_{M1} = 3 I_1^2 R_\phi;$$

– электромагнитную мощность, передаваемую ротору,

$$P_{эм} = P_1 - P_{M1} - P_{ст};$$

– потери в роторе

$$P_{M2} = s P_{эм};$$

– вращающий момент асинхронного двигателя

$$M = \frac{P_{\text{эм}}}{0,105 \cdot n_1};$$

– полезную мощность на валу двигателя

$$P_2 = 0,105 M_c n_2,$$

где  $M_c = M - M_0$  – момент сопротивления нагрузки на валу;  $M_0$  – момент сопротивления холостого хода, определяемый потерями в АД,

$$M_0 = \frac{P_{\text{мех}}}{0,105 n_{20}};$$

где  $n_{20}$  – частота вращения ротора на холостом ходу;

– коэффициент полезного действия, %

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100.$$

Результаты вычислений следует записать в табл. 1.

На основании выполненных расчетов следует построить следующие зависимости:

– семейство механических характеристик  $n_2 = f(M)$  при  $f_{\text{п}} = 30, 50$  и  $60$  Гц;

– зависимость коэффициента полезного действия от нагрузки  $\eta = f(M)$  при  $f_{\text{п}} = 30, 50$  и  $60$  Гц;

– зависимость коэффициента мощности от нагрузки  $\cos \varphi = f(M)$  при  $f_{\text{п}} = 30, 50$  и  $60$  Гц.

Построить энергетическую диаграмму для нагрузки на валу  $3$  кг и номинальной частоты питающей сети  $f_{\text{п}} = 50$  Гц.

### Содержание отчета

1. Номинальные данные испытуемого двигателя, преобразователя частоты и электроизмерительных приборов.
2. Электрическая схема установки.
3. Программа работы.

4. Результаты измерений и расчетов, необходимых для построения соответствующих характеристик привода, а также формулы, по которым производились расчеты.

5. Графики характеристик, построенные по экспериментальным и расчетным данным:

– семейство механических характеристик  $n_2 = f(M)$  при  $f_{\text{п}} = 30, 50$  и  $60$  Гц;

– зависимость коэффициента полезного действия от нагрузки  $\eta = f(M)$  при  $f_{\text{п}} = 30, 50$  и  $60$  Гц;

– зависимость коэффициента мощности от нагрузки  $\cos \varphi = f(M)$  при  $f_{\text{п}} = 30, 50$  и  $60$  Гц.

6. Энергетическая диаграмма.

7. Краткие выводы о проделанной работе.

### Контрольные вопросы

1. Что называется электроприводом?

2. Какими основными точками характеризуется механическая характеристика асинхронного электродвигателя?

3. От каких параметров источника питания асинхронного двигателя зависит вид его механической характеристики?

4. Как зависит механическая характеристика асинхронного двигателя от частоты питающей сети?

5. Почему с увеличением частоты напряжения питания увеличивается скольжение?

6. Какие способы регулирования частоты вращения применяются в асинхронном электроприводе?

7. Каким образом реализуется частотное регулирование электропривода?

8. Как можно определить переменные (зависящие от нагрузки на валу) потери в асинхронном двигателе?

9. Как можно определить постоянные потери в асинхронном двигателе (из какого опыта)?

10. Какая часть мощности, потребляемой электродвигателем из сети, передается ротору?

11. Как определяются потери мощности в роторе асинхронного электродвигателя?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иванов И.И., Равдоник В.С.** Электротехника. – М.: Высш. шк., 1984. – 322 с.
2. **Касаткин А.С., Немцов М.В.** Электротехника: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2002. – 542 с.
3. Электротехника и электроника. Ч. 1: Метод. указания для самостоятельного изучения дисциплины. – СПб.: СПбГАХПТ, 1992. – 285 с.
4. Электротехника и электроника. Ч. 3: Метод. указания для самостоятельного изучения дисциплины. – СПб.: СПбГАХПТ, 2000.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	5
Лабораторная работа № 14. ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.....	7
Лабораторная работа № 15а. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	14
Лабораторная работа № 15б. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО- РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ...	25
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	31

Батяев Анатолий Алексеевич  
Новотельнова Анна Владимировна

## **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ЭЛЕКТРОПРИВОД**

### **Часть 2**

Методические указания  
к лабораторным работам  
по курсу «Электротехника и электроника»  
для студентов всех специальностей

*Редактор*

Р.А. Сафарова

*Корректор*

Н.И. Михайлова

*Компьютерная верстка*

Н.В. Гуральник

---

Подписано в печать 20.09.2006. Формат 60×84 1/16  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,86. Печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,88  
Тираж 500 экз. Заказ № С 16

---

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

ИПЦ СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9