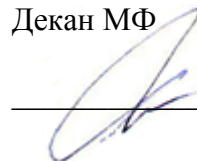


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан МФ



/С.Ю. Труднев/

«23» октября 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Судовые электроприводы»**

по направлению подготовки  
13.03.02 «Энергетика и электротехника»  
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»  
квалификация: бакалавр

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 23.10.2024 г., протокол № 2

Составитель рабочей программы  
Зав. кафедры «ЭУЭС», к.т.н.

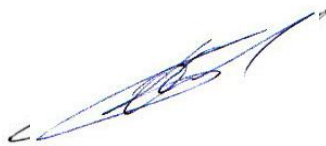


Белов О.А.

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры «ЭУЭС»  
«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «ЭУЭС» к.т.н., доцент

«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

## 1. Цель и задачи учебной дисциплины

**Цель** освоения дисциплины «Судовые электроприводы» заключается в усвоении основных свойств и сущности физических процессов, протекающих в электроприводах с машинами постоянного и переменного тока, теоретическое и практическое изучение режимов работы и рабочих характеристик электродвигателей и производственных механизмов, а также их взаимозависимость, привитие навыков управления рабочими режимами в системе электропривода, изучение электрических схем судовых электроприводов, анализ нестандартных ситуаций в работе электропривода и способов их устранения, освоение основ расчета и проектирования электроприводов различных судовых устройств, систем и производственных механизмов, в формировании теоретических знаний, умений и практических навыков при проектировании, эксплуатации и определении работоспособности судового автоматизированного электропривода в соответствии с требованиями нормативно-технических документов.

Основные **задачи** курса:

- изучение законов движения электропривода и основных уравнений, описывающих его работу;
- изучение механических характеристик электроприводов постоянного и переменного тока, способов регулирования скорости вращения, физических процессов, протекающих в автоматизированных электроприводах при динамических режимах работы;
- определение мощности исполнительных двигателей с учетом конкретных рабочих машин основных судовых механизмов и устройств;
- изучение принципов автоматического регулирования координат электропривода;
- изучение схем управления судовыми автоматизированными электроприводами;
- приобретение опыта расчета и выбора основных элементов электропривода.

В процессе обучения необходимо стремиться к формированию способности курсантов и студентов самостоятельно решать технические вопросы, возникающие при эксплуатации и техническом обслуживании судового электропривода, на основе полученных теоретических и практических навыков.

## 2. Требования к результатам освоения дисциплины

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Энергетика и электро-техника», выпускник должен обладать следующими **ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**:

- Способен производить оценку технического состояния электрооборудования (**ПК-1**).
- Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования (**ПК-3**).

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины (знать, уметь, владеть), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенция или ее часть), представлены в табл. 1.

Таблица 1

ПК-1	Способен производить оценку технического состояния электрооборудования	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> . Демонстрирует навыки безопасного технического использования судового электрооборудования и средств автоматизации.	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– законы движения электропривода и основные уравнения, описывающие его работу, физические процессы, протекающие в системе электропривода при переходных режимах работы;</li><li>– электромеханические свойства двигателей постоянного и переменного тока;</li></ul>	<b>З(ПК-1)1</b>
		ИД-2 <sub>ПК-1</sub> . Понимает организацию		<b>З(ПК-1)2</b>

		<p>технического обслуживания, диагностирования и ремонта судового электрооборудования и средств автоматки.</p> <p>ИД-3<sub>ПК-1</sub>. Обладает необходимыми знаниями для проведения диагностики судового электрооборудования и средств автоматки.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– принципы управления и автоматизации судового электропривода;</li> <li>– назначение, состав и режимы работы автоматизированных комплексов судовых электроприводов, организацию их эксплуатации, технического обслуживания и ремонта;</li> <li>– требования Регистра к установленным на судах электроприводам, перспективы развития и совершенствования электроприводов.</li> </ul>	<p><b>З(ПК-1)3</b></p> <p><b>З(ПК-1)4</b></p> <p><b>З(ПК-1)5</b></p>
			<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– производить расчеты, построение и анализ электромеханических и механических характеристик электроприводов, определять оптимальные режимы их работы;</li> <li>– производить расчеты и выбор электродвигателя для электропривода различных судовых устройств, систем и производственных механизмов;</li> <li>– использовать справочную литературу для выбора электродвигателя и аппаратуры управления электроприводом;</li> <li>– читать электрические схемы управления электроприводами и использовать их для обеспечения качественной эксплуатации судовых систем, устройств и производственных механизмов.</li> </ul>	<p><b>У(ПК-1)1</b></p> <p><b>У(ПК-1)2</b></p> <p><b>У(ПК-1)3</b></p> <p><b>У(ПК-1)4</b></p>
			<p><b>Приобрести навыки:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– эксплуатации судового электропривода на оптимальных режимах работы;</li> <li>– построения и чтения электрических схем;</li> <li>– поиска и устранения типичных неисправностей, возникающих в электрических схемах управления электроприводами судовых систем, устройств и производственных механизмов;</li> <li>– обеспечения качественной технической эксплуатации судовых автоматизированных комплексов и отдельных электроприводов.</li> </ul>	<p><b>П(ПК-1)1</b></p> <p><b>П(ПК-1)2</b></p> <p><b>П(ПК-1)3</b></p> <p><b>П(ПК-1)4</b></p>

<b>ПК-3</b>	Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования	<b>ИД-1</b> пк. з. Демонстрирует навыки безопасного использования систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами	<b>Знать:</b> – характеристики и ограничения материалов, используемых при изготовлении систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами; – характеристики и ограничения процессов, используемых для изготовления и ремонта систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами; – свойства и параметры, учитываемые при изготовлении и ремонте систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами; – методы выполнения безопасных аварийных и временных ремонтов.	<b>З(ПК-3)1</b>  <b>З(ПК-3)2</b>  <b>З(ПК-3)3</b>  <b>З(ПК-3)4</b>
		<b>ИД-2</b> пк. з. Понимает организацию технического обслуживания, диагностирования и ремонта систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами	<b>Уметь:</b> – выполнять основные операции по восстановлению электрических соединений и электрической изоляции; – выполнять основные операции по механической обработке металлов; – выполнять требования по организации рабочего места и безопасному выполнению ремонтных работ;	<b>У(ПК-3)1</b>  <b>У(ПК-3)2</b>  <b>У(ПК-3)3</b>
		<b>ИД-3</b> пк. з. Обладает необходимыми знаниями для проведения диагностики систем автоматики и управления главной двигательной установкой и вспомогательными механизмами	<b>Владеть:</b> – навыками целеполагания; – методами анализа проблем навыками организации процесса разработки, принятия и реализации управленческих решений	<b>В(ПК-3)1</b>  <b>В(ПК-3)2</b>

### 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина Судовые электроприводы относится к части, формируемой участниками образовательных отношений в структуре основной образовательной программы.

Учебная дисциплина «Судовые электроприводы» является базовой, знакомит курсантов и студентов с системой электропривода, обеспечивает их подготовку в области технической эксплуатации судовых электроприводов и устройств, способствует развитию навыков по выбору судового электрооборудования, выполнению диагностирования и определению причин его отказов.

### 4. Содержание дисциплины

Тематический план дисциплины по заочной форме обучения представлен в виде табл. 4.

Таблица 4

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый контроль знаний
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тема 1. Механика электропривода	23	3	1	2		20	Опрос, тест	
Тема 2. Электромеханические и регулировочные свойства электроприводов постоянного тока	22	2	1	1		20	Расчетно-графическое задание, опрос, тест	
Тема 3. Электромеханические свойства электродвигателей переменного тока	23	2	1	1		21	Тест, опрос	
Тема 4. Выбор электродвигателей и проектирование электропривода	23	3	1	1	1	20	Тест, опрос	
Тема 5. Управление электроприводами	23	3	1	1	1	20	Опрос	
Тема 6. Электроприводы рулевых устройств	23	3	1	1	1	20	Тест, опрос	
Тема 7. Электроприводы якорно-швартовых устройств	23	3	1	1	1	20	Тест, опрос	
Тема 8. Электроприводы грузовых устройств	23	3	1	1	1	20	Тест, опрос	
Тема 9. Электроприводы вспомогательных механизмов силовых установок и судовых систем	24	4	2	1	1	20	Тест, опрос	
<b>Курсовой проект</b>							Защита	<b>КП</b>
<b>Экзамен</b>	9						Коллоквиум	9
<b>Итого</b>	<b>216</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>181</b>		<b>9</b>

#### 4.2. Содержание дисциплины

#### Тема 1. Механика электропривода

*Лекция 1.1 Общие сведения об электроприводе*

*Рассматриваемые вопросы:*

Основные понятия и определения. Силы и моменты, действующие в электроприводе. Приведение моментов к валу электродвигателя. Уравнение движения электропривода.

#### Тема 2. Электромеханические и регулировочные свойства электроприводов постоянного тока

*Лекция 2.1 Механические характеристики электроприводов*

*Рассматриваемые вопросы:*

Понятие о механических и электромеханических характеристиках. Механические характеристики электродвигателей и рабочих механизмов. Механические характеристики электродвигателей в двигательных режимах.

*Лекция 2.2 Электромеханические свойства электродвигателей постоянного тока с параллельным (независимым) возбуждением*

*Рассматриваемые вопросы:*

Естественные электромеханическая и механическая характеристики двигателя с параллельным возбуждением. Влияние параметров двигателя с параллельным возбуждением и сети на механические характеристики. Пуск и ход двигателя с параллельным возбуждением. Показатели регулирования скорости электродвигателей. Регулирование скорости двигателя с параллельным возбуждением. Механические характеристики электродвигателей в тормозных режимах. Торможение и реверсирование двигателя с параллельным возбуждением.

*Лекция 2.3 Электромеханические свойства электродвигателей постоянного тока с последовательным возбуждением*

*Рассматриваемые вопросы:*

Естественные электромеханическая и механическая характеристики двигателя с последовательным возбуждением. Построение искусственных характеристик двигателя с последовательным возбуждением. Пуск и ход двигателя с последовательным возбуждением. Регулирование скорости двигателя с последовательным возбуждением. Торможение двигателя с последовательным возбуждением.

*Лекция 2.4 Электромеханические свойства электродвигателей постоянного тока со смешанным возбуждением*

*Рассматриваемые вопросы:*

Механические характеристики двигателя со смешанным возбуждением. Пуск, регулирование скорости и тормозные режимы двигателя со смешанным возбуждением. Расчет механических характеристик электродвигателей. Особенности механических характеристик электродвигателей при питании их от аккумуляторной батареи.

### **Тема 3. Электромеханические свойства электродвигателей переменного тока**

*Лекция 3.1 Общие вопросы механики асинхронного двигателя*

*Рассматриваемые вопросы:*

Исходные положения. Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя. Симметричные режимы работы асинхронного двигателя.

*Лекция 3.2 Электромеханические свойства асинхронного двигателя*

*Рассматриваемые вопросы:*

Механическая характеристика асинхронной машины в двигательных режимах. Механическая характеристика асинхронной машины в тормозных режимах.

*Лекция 3.3 Режимы работы асинхронного двигателя*

*Рассматриваемые вопросы:*

Механическая характеристика асинхронной машины в несимметричных режимах. Пуск, регулирование скорости, торможение электроприводов с асинхронными двигателями.

*Лекция 3.4 Синхронный двигатель в системе электропривода*

*Рассматриваемые вопросы:*

Электромеханические и регулировочные свойства электроприводов с синхронными двигателями. Механическая и угловая характеристики синхронных двигателей. Пуск, регулирование скорости, торможение электроприводов с синхронными двигателями.

### **Тема 4. Выбор электродвигателей и проектирование электропривода**

*Лекция 4.1*

*Рассматриваемые вопросы:*

Общие требования, предъявляемые к судовому электроприводу. Основы проектирования судовых

электроприводов. Выбор типа и конструктивного исполнения электродвигателя.

*Лекция 4.2*

*Рассматриваемые вопросы:*

Электрическая защита судовых электроприводов. Принципы построения и чтения электрических схем. Системы управления судовыми электроприводами.

*Лекция 4.3*

*Рассматриваемые вопросы:*

Классификация режимов работы судовых электроприводов. Выбор мощности двигателя при длительном режиме работы. Выбор мощности двигателя при кратковременном режиме работы. Выбор мощности двигателя при повторно-кратковременном режиме работы.

## **Тема 5. Принципы контакторного управления судовыми электроприводами**

*Лекция 5.1*

*Рассматриваемые вопросы:*

Устройство электромагнитного контактора. Характеристики и особенности контакторов постоянного тока. Характеристики и особенности контакторов переменного тока.

*Лекция 5.2*

*Рассматриваемые вопросы:*

Реле управления. Реле защиты. Принципы автоматизации управления электроприводом. Типовые принципиальные схемы судовых электроприводов.

## **Тема 6. Принципы управления судовым электроприводом с помощью электромашинных преобразователей**

*Лекция 6.1*

*Рассматриваемые вопросы:*

Система «генератор – двигатель» с независимым возбуждением. Система «генератор – двигатель» с отсечкой по току. Системы управления с электромашинными преобразователями переменного тока «генератор – двигатель» с отсечкой по току.

## **Тема 7. Принципы управления судовыми электроприводами с помощью статических преобразователей электроэнергии (СПЭ)**

*Лекция 7.1*

*Рассматриваемые вопросы:*

Силовые полупроводниковые приборы. Основные типы тиристорных электроприводов. Особенности работы тиристорных в цепях постоянного и переменного тока. Принцип вертикального фазового управления.

*Лекция 7.1*

*Рассматриваемые вопросы:*

Использование СПЭ в схемах пуска электродвигателей. Импульсное управление электроприводов постоянного тока. Управление электроприводов постоянного тока по системе «управляемый выпрямитель – двигатель» (УВ–Д). Частотное управление электроприводов переменного тока.

## **Тема 8. Эксплуатация судовых электроприводов**

*Лекция 8.1*

*Рассматриваемые вопросы:*

Основные понятия надежности электроприводов. Причины отказов и неисправностей электроприводов. Влияние эксплуатационных факторов на надежность электроприводов.

*Лекция 8.1*

*Рассматриваемые вопросы:*

Основные правила эксплуатации электроприводов. Особенности эксплуатации электроприводов со статическими преобразователями энергии. Меры безопасности при эксплуатации электроприводов.



## Темы и задания на практические занятия

Темы и задания на практические занятия приведены в учебно-методическом пособии [3].

### Темы лабораторных занятий

*Лабораторная работа № 1.* Определение механической характеристики  $n=f(M)$  двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

*Лабораторная работа № 2.* Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением изменением сопротивления цепи якоря.

*Лабораторная работа № 3.* Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением изменением напряжения якоря при питании от источника ЭДС.

*Лабораторная работа № 4.* Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением изменением напряжения якоря при питании от тиристорного преобразователя.

*Лабораторная работа № 5.* Определение координат электропривода с двигателем постоянного тока параллельного возбуждения в генераторном, двигательном и тормозном режимах.

*Лабораторная работа № 6.* Определение механической характеристики  $n=f(M)$  трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

*Лабораторная работа № 7.* Определение механической характеристики  $n=f(M)$  трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором.

*Лабораторная работа № 8.* Регулирование частоты вращения трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором изменением напряжения статора.

*Лабораторная работа № 9.* Регулирование частоты вращения трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором согласованным изменением частоты и напряжения статора.

*Лабораторная работа № 10.* Регулирование частоты вращения трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором изменением сопротивления реостата в цепи ротора.

*Лабораторная работа № 11.* Определение координат электропривода системы «Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором – электрическая сеть промышленной частоты» в генераторном, двигательном и тормозном режимах.

*Лабораторная работа № 12.* Определение координат электропривода системы «Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором – преобразователь частоты» в генераторном, двигательном и тормозном режимах.

*Лабораторная работа № 13.* Пуск трехфазного синхронного двигателя.

*Лабораторная работа № 14.* Снятие  $U$ -образной характеристики  $I=f(I_f)$  трехфазного синхронного двигателя.

*Лабораторная работа № 15.* Регулирование реактивной мощности трехфазного синхронного двигателя изменением возбуждения.

*Лабораторная работа № 16.* Определение координат электропривода системы «Трехфазный синхронный двигатель – электрическая сеть промышленной частоты» в генераторном и двигательном режимах.

*Лабораторная работа № 17.* Электропривод системы «Тиристорный преобразователь - двигатель постоянного тока независимого возбуждения с регулированием по скорости».

*Лабораторная работа № 18.* Электропривод системы «Тиристорный преобразователь - двигатель постоянного тока независимого возбуждения с подчиненным регулированием по скорости».

*Лабораторная работа № 19.* Электропривод системы «Тиристорный преобразователь - двигатель постоянного тока независимого возбуждения с подчиненным регулированием по напряжению».

*Лабораторная работа № 20.* Электропривод системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с регулированием по скорости».

Конкретные задания при выполнении лабораторных работ приведены в учебно-методическом пособии [3].

## 5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся

### **5.1. Внеаудиторная самостоятельная работа студентов**

Основными формами самостоятельной работы студентов при освоении дисциплины являются: проработка вопросов, выносимых на самостоятельное изучение, изучение основной и дополнительной литературы, конспектирование материалов, подготовка к практическим и лабораторным занятиям, тестированию, к написанию курсового проекта, подготовка к промежуточной и итоговой аттестации.

В целом внеаудиторная самостоятельная работа студента при изучении курса включает в себя следующие виды работ:

- проработка (изучение) материалов лекций;
- чтение и проработка рекомендованной учебно-методической литературы;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к лабораторным занятиям;
- поиск и проработка материалов из Интернет-ресурсов, периодической печати;
- выполнение домашних заданий в форме расчетных задач;
- конспектирование первоисточников и учебной литературы;
- подготовка к текущему и итоговому контролю знаний по дисциплине.

Основная доля самостоятельной работы студентов приходится на подготовку к практическим занятиям, тематика которых полностью охватывает содержание курса. Самостоятельная работа по подготовке к практическим занятиям предполагает умение работать с первичной информацией.

### **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;
- типовые контрольные задания или материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

#### **Вопросы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (экзамен)**

1. Определение электропривода и его структурная схема.
2. Краткая классификация электроприводов.
3. Силы и моменты, действующие в системе электропривода.
4. Уравнение движения электропривода.
5. Понятие о переходных режимах.
6. Приведение статических моментов к валу двигателя.
7. Приведение моментов инерции к валу двигателя.
8. Приведение поступательно движущихся масс к валу двигателя.
9. Понятие о механических и электромеханических характеристиках.
10. Естественная механическая характеристика двигателя с параллельным возбуждением.
11. Влияние параметров двигателя с параллельным возбуждением на механические характеристики.
12. Пуск в ход двигателя с параллельным возбуждением.
13. Показатели регулирования скорости электродвигателей.
14. Регулирование скорости двигателя с параллельным возбуждением способом включения в цепь якоря добавочных сопротивлений.

15. Регулирование скорости двигателя с параллельным возбуждением способом шунтирования якоря.
16. Регулирование скорости двигателя с параллельным возбуждением способом ослабления магнитного потока.
17. Способы торможения в системе судового электропривода.
18. Сущность рекуперативного торможения (на примере двигателя с параллельным возбуждением).
19. Сущность динамического торможения (на примере двигателя с параллельным возбуждением).
20. Сущность торможения противовключением (на примере двигателя с параллельным возбуждением).
21. Естественная электромеханическая и механическая характеристики двигателя с последовательным возбуждением.
22. Способы регулирования скорости двигателя с последовательным возбуждением.
23. Торможения двигателя с последовательным возбуждением.
24. Механические характеристики двигателя со смешанным возбуждением.
25. Основные режимы работы двигателя со смешанным возбуждением.
26. Система генератор-двигатель и ее основные режимы работы.
27. Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя.
28. Механические характеристики асинхронных двигателей при симметричных режимах.
29. Способы пуска асинхронных двигателей в ход.
30. Способы регулирования скорости асинхронных двигателей.
31. Регулирование скорости АД с фазным ротором изменением активного сопротивления цепи ротора.
32. Регулирование скорости АД изменением числа пар полюсов.
33. Регулирование скорости АД изменением частоты тока питающей сети.
34. Рекуперативное торможение асинхронных двигателей.
35. Динамическое торможение асинхронных двигателей.
36. Торможение противовключением асинхронных двигателей.
37. Механическая и угловая характеристики синхронного двигателя.
38. Пуск, регулирование скорости и торможение синхронных двигателей.
39. Переходные процессы в электроприводах постоянного тока.
40. Переходные процессы в электроприводах переменного тока.
41. Механические и электромеханические переходные процессы.
42. Определение длительности переходных режимов.
43. Энергетика переходных процессов электроприводов.
44. Порядок проектирования электропривода.
45. Выбор типа и конструктивного исполнения электродвигателя.
46. Номинальная мощность и перегрузочная способность электропривода.
47. Определение мощности электродвигателя.
48. Нагрев и охлаждение электродвигателей.
49. Классификация режимов работы двигателей. Нагрузочные диаграммы.
50. Частотное управление электроприводов переменного тока.

## **7. Рекомендуемая литература**

### **7.1. Основная литература**

1. Чекунов К.А. Судовые электроприводы и электродвижение судов: учебник / К.А. Чекунов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1986. – 352 с.
2. Белов О.А. Судовые электроприводы. Основы теории и динамики переходных процессов: учеб.пособие / О.А. Белов. – М.: МОРКНИГА, 2016г. – 188 с.

3. Белов О.А. Судовые электроприводы: учебно-методическое пособие / О.А. Белов. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019г. – 117 с.6.2.

## **7.2 Дополнительная литература**

4. Фесенко В.И. Электроприводы промышленных судов / В.И. Фесенко. – М.: Колос, 1992. – 368 с.
5. Автоматизированный электропривод / Под общ. ред. Н.Ф. Ильинского, М.Г. Юнькова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 544 с.
6. Москаленко В.В. Электрический привод: учеб. пособие / В.В. Москаленко. – 2-е изд., стереотип. – М.: Академия, 2004. – 368 с.
7. Фрейдзон И.Р. Судовые автоматизированные электроприводы и системы: учебник / И.Р. Фрейдзон. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1988. – 472 с.
8. Головин Ю.К. Судовые электрические приводы: учебник / Ю.К. Головин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 327 с.

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Электронно-библиотечная система «eLibrary»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elibrary.ru>
2. Электронно-библиотечная система «Буквоед»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elibrary.ru>
3. Информационный портал для моряков «Морской трекер»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://seatracker.ru/>
4. Группа компаний «ГалСен»: Инженерно-производственный центр «Учебная техника» (головное предприятие) и «Учебная техника-ГалСен»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://galsen.ru/>

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Методика преподавания данной дисциплины предполагает чтение лекций, проведение практических (семинарских) и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций по отдельным (наиболее сложным) специфическим проблемам дисциплины. Предусмотрена самостоятельная работа студентов, прохождение аттестационных испытаний промежуточной аттестации, а также написание курсового проекта.

**Лекции** нацелены на теоретическое и практическое изучение основных свойств и сущности физических процессов, протекающих в электроприводах с машинами постоянного и переменного тока, режимов работы и рабочих характеристик электродвигателей и производственных механизмов, а также их взаимозависимость, привитие навыков управления рабочими режимами в системе электропривода, изучение электрических схем судовых электроприводов, анализ нестандартных ситуаций в работе электропривода и способов их устранения, освоение основ расчета и проектирования электроприводов различных судовых устройств, систем и производственных механизмов, в формировании теоретических знаний, умений и практических навыков при проектировании, эксплуатации и определении работоспособности судового автоматизированного электропривода в соответствии с требованиями нормативно-технических документов.

В ходе лекций студентам следует подготовить конспекты лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины; проверять термины, понятия с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь; обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.

**Целью проведения практических занятий** является закрепление знаний студентов, полученных ими в ходе изучения дисциплины на лекциях и самостоятельно. Практические занятия проводятся в форме решения расчетных задач, на практических занятиях разбираются методики расчета задач по инженерным расчетам, необходимым при проектировании систем электропривода, изучаются способы правильного и обоснованного выбора типов двигателей для электроприводов.

**Целью проведения лабораторных занятий** является ознакомление с устройством, принципом действия и характеристиками электроприводов постоянного и переменного тока; закрепление теоретических знаний в области судового электропривода, получение навыков их экспериментального исследования, а также обработки полученных результатов; приобретение навыков чтения и сборки электрических схем, включения и испытания электроприводов в различных режимах; приобретение навыков суммирования и обобщения полученных результатов экспериментальных исследований, умения формулировать правильные выводы о работе машины и физических процессах, протекающих в ней; приобретение навыков решения прикладных задач, практического применения теоретических знаний при эксплуатации судового электропривода.

При изучении дисциплины используются интерактивные методы обучения, такие как:

1. Лекция:

– лекция-визуализация – подача материала осуществляется средствами технических средств обучения с кратким комментированием демонстрируемых визуальных материалов (презентаций).

2. Практическое занятие:

– Кейс-метод (разбор конкретных производственных ситуаций), коллективные решения задач. При выполнении работ студент должен самостоятельно изучить методические рекомендации по проведению конкретной работы; выполнить соответствующие расчеты; пользоваться справочной и технической литературой.

3. Лабораторное занятие:

– Работа в малых группах, моделирование производственных процессов и ситуаций.

Для успешного выполнения лабораторной работы необходимо повторить основные теоретические положения, касающиеся данной работы, уяснить цель работы, определить количество, назначение и порядок проведения опытов, разобраться в электрической схеме, которую нужно собрать на лабораторном стенде, разобраться в принятых условных обозначениях. Необходимо проверить наличие на лабораторном стенде нужного оборудования, измерительных приборов и источников питания, визуально убедиться в их исправности.

Приступая к сборке экспериментальной схемы, следует учесть замечания и рекомендации преподавателя относительно данной лабораторной работы, убедиться, что выводные клеммы источников питания обесточены, а указатели ЛАТРов установлены на нулевое положение.

Во время подготовки к проведению лабораторной работы необходимо заранее заготовить таблицы для записи экспериментальных данных. Такой черновик заготавливается один на бригаду в отдельной тетради. После сборки на лабораторном стенде электрической схемы необходимо обязательно пригласить преподавателя для проверки собранной схемы и готовности бригады к выполнению лабораторной работы. Снятые экспериментальные данные сначала заносятся в заранее подготовленные таблицы черновика.

При выполнении лабораторной работы не следует превышать номинальные значения токов и напряжений испытываемых машин, если это отдельно не оговорено в руководстве к работе. Следует внимательно и бережно относиться к измерительным приборам, пределы их измерений следует устанавливать с некоторым запасом относительно предполагаемых значений экспериментальных данных. Для повышения точности измерений допускается во время проведения опыта менять пределы измерения физической величины, но делать это следует с учетом особенностей измерительного прибора.

Черновик с полностью проведенными расчетами и построенными графиками предъявляется преподавателю для проверки. Если работа выполнена правильно, преподаватель дает разрешение оформлять отчет. Если же при проверке черновиков обнаруживаются ошибки или недостаточное

количество экспериментальных данных, бригада возвращается к стенду для уточнения и дополнения измерений.

Каждый студент производит обработку результатов и составляет отчет по лабораторной работе самостоятельно.

Лабораторные стенды являются действующими электрическими установками и при определенных условиях могут стать источником поражения током. Поэтому следует всегда помнить и соблюдать необходимые меры предосторожности и правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ. Курсанты и студенты, нарушившие правила техники безопасности и поведения в лаборатории, отстраняются от выполнения лабораторной работы. В случае порчи оборудования из-за несоблюдения установленных правил, виновные несут материальную ответственность.

В целом внеаудиторная *самостоятельная работа студента* при изучении курса включает в себя следующие виды работ:

- проработка (изучение) материалов лекций;
- чтение и проработка рекомендованной учебно-методической литературы;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к лабораторным занятиям;
- поиск и проработка материалов из Интернет-ресурсов, периодической печати;
- выполнение домашних заданий в форме расчетных задач;
- конспектирование первоисточников и учебной литературы;
- подготовка к текущему и итоговому контролю знаний по дисциплине.

Основная доля самостоятельной работы студентов приходится на подготовку к практическим и лабораторным занятиям, тематика которых полностью охватывает содержание курса. Самостоятельная работа по подготовке к практическим занятиям по дисциплине «Судовые электроприводы» предполагает умение работать с первичной информацией.

В ходе освоения дисциплины студенты набирают 100 баллов посредством выполнения предусмотренных видов учебно-познавательной деятельности.

## **10. Курсовой проект**

### **10.1. Цель и задачи курсового проектирования**

Целью курсового проектирования является углубленное изучение теоретического материала по дисциплине «Судовые электроприводы»; ознакомление с основными приемами инженерной методики проектирования судового автоматизированного электропривода с учетом использования новейших достижений в области их проектирования и производства; подготовка курсантов к самостоятельному решению задач при расчете, изготовлении, ремонте и эксплуатации электроприводов.

Задачей курсового проекта является расчет и конструирование грузового электропривода или электропривода якорно-швартового устройства согласно заданию.

При этом необходимо:

выбрать и начертить кинематическую схему грузовой лебедки и брашпиля (шпиля) в соответствии с курсовым заданием;

произвести предварительный расчет и выбрать электродвигатель по мощности используя каталоги для электроприводов морских судов;

построить механические характеристики выбранных двигателей;

рассчитать и построить нагрузочную диаграмму и проверить соответствие выбранного двигателя;

произвести проверку выбранных двигателей на нагрев и провал напряжения;

выбрать схему управления для рассчитанного электропривода и начертить ее;

выбрать коммутационную, защитную и аппаратуру управления для рассчитанного электропривода и его схемы;

составить соответствующий каталог сечения кабелей, марки тормоза и приложить к схеме;

для схемы внешних соединений составить монтажную схему.

## **10.2. Организация проектирования**

Курсовой проект студент выполняет по индивидуальному заданию, которое выдает руководитель курсового проектирования. Сроки выполнения курсового проекта указываются в учебном графике.

Законченный курсовой проект следует представить на проверку.

Чертежи необходимо выполнять в соответствии с требованиями ЕСКД. Полностью оформленный курсовой проект (пояснительная записка и чертежи) курсант (студент) обязан представить на кафедру для окончательного заключения и получения разрешения на защиту не позже срока, указанного в учебном графике.

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационно-справочных систем**

### ***11.1 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса***

- электронные образовательные ресурсы, представленные в п. 7 данной рабочей программы;
- использование слайд-презентаций;
- интерактивное общение с обучающимися и консультирование посредством электронной почты;
- интерактивное общение с помощью программы (мессенджер)WhatsApp.

### ***11.2. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса***

При освоении дисциплины используется лицензионное программное обеспечение:

- текстовый редактор MicrosoftWord;
- электронные таблицы MicrosoftExcel;
- презентационный редактор MicrosoftPowerPoint;
- программа проверки текстов на предмет заимствования«Антиплагиат».

## **12. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

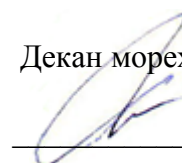
- для проведения занятий лекционного типа, практических (семинарских) занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы учебная аудитория № 3-402 с комплектом учебной мебели на 32 посадочных места;
- доска аудиторная;
- комплект лекций по темам курса «Судовые электроприводы»;
- мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор);
- лабораторные стенды.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет МОРЕХОДНЫЙ

Кафедра «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан мореходного факультета



С.Ю. Труднев

«23» октября 2024 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Судовые электроприводы»**

по направлению подготовки  
13.03.02 «Энергетика и электротехника»  
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»  
квалификация: бакалавр

Петропавловск-Камчатский  
2024



Фонд оценочных средств дисциплины составлен на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 23.10.2024 г., протокол № 2.

Составитель фонда оценочных средств  
Зав. кафедрой «ЭУЭС»



(подпись)

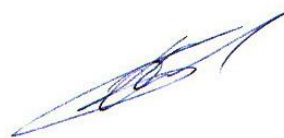
Белов О.А.  
(ФИО.)

Фонд оценочных средств рассмотрен на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

### АКТУАЛЬНО НА

2025 / 2026 учебный год



(подпись)

Белов О.А.  
(ФИО. зав.кафедрой)

2026 / 2027 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2027 / 2028 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2028 / 2029 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

2029 / 2030 учебный год

\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(ФИО. зав.кафедрой)

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации студентов по дисциплине «**Судовые электроприводы**» представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

1. паспорт фонда оценочных средств по дисциплине;
2. перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
3. описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания;
4. методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.

## 1 Паспорт ФОС по дисциплине «Судовые электроприводы»

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Тема 1. Механика электропривода	ПК-1 ПК-3	Опрос, тест
2	Тема 2. Электромеханические и регулировочные свойства электроприводов постоянного тока		Расчетно-графическое задание, опрос, тест
3	Тема 3. Электромеханические свойства электродвигателей переменного тока		Тест, опрос
4	Тема 4. Выбор электродвигателей и проектирование электропривода		Тест, опрос
5	Тема 1. Управление электроприводами		Опрос
6	Тема 2. Электроприводы рулевых устройств		Тест, опрос
7	Тема 3. Электроприводы якорно-швартовых устройств		Тест, опрос
8	Тема 4. Электроприводы грузовых устройств		Тест, опрос
9	Тема 5. Электроприводы вспомогательных механизмов силовых установок и судовых систем		Тест, опрос

## 2 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Наименование контролируемой компетенции	Наименование дисциплины формирующей компетенцию	Этапы формирования компетенции				
				1 курс	2 курс	3 курс	4 курс	5 курс
1	ПК-1	Способен производить оценку технического состояния электрооборудования	Введение в специальность	+				
			2. Судовые электроприводы				+	
			3. Судовые электрические машины				+	
			4. Судовая электроника и СПТ Производственная практика				+	
2	ПК-3	Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования	1. Судовые электроприводы				+	
			2. Теория автоматического управления			+		
			3. Техническая эксплуатация судна					+
			4. Техника высоких напряжений				+	

			5. Производственная практика					+	
--	--	--	------------------------------	--	--	--	--	---	--

### 3 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания

#### Критерии оценки знаний, умений и навыков на экзамен

#### Критерии оценивания качества устного ответа

**Оценка «5» (отлично)** выставляется, если обучающийся показывает всесторонние и глубокие знания программного материала, знание основной и дополнительной литературы; последовательно и четко отвечает на вопросы билета и дополнительные вопросы; уверенно ориентируется в проблемных ситуациях; демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, делать правильные выводы, проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании программного материала; подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Оценка «4» (хорошо)** выставляется, если обучающийся показывает полное знание программного материала, основной и дополнительной литературы; дает полные ответы на теоретические вопросы, допуская некоторые неточности; правильно применяет теоретические положения к оценке практических ситуаций; демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Оценка «3» (удовлетворительно)** выставляется, если обучающийся показывает знание основного материала в объеме, необходимом для предстоящей профессиональной деятельности; при ответе на вопросы не допускает грубых ошибок, но испытывает затруднения в последовательности их изложения; не в полной мере демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой на минимально допустимом уровне.

**Оценка «2» (неудовлетворительно)** выставляется, если обучающийся имеет существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по разделу; не способен аргументировано и последовательно его излагать, допускает грубые ошибки в ответах, неправильно отвечает на задаваемые преподавателем вопросы или затрудняется с ответом; не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

#### Вопросы к промежуточной аттестации

1. Определение электропривода и его структурная схема.
2. Краткая классификация электроприводов.
3. Силы и моменты, действующие в системе электропривода.
4. Уравнение движения электропривода.
5. Понятие о переходных режимах.
6. Приведение статических моментов к валу двигателя.
7. Приведение моментов инерции к валу двигателя.
8. Приведение поступательно движущихся масс к валу двигателя.
9. Понятие о механических и электромеханических характеристиках.
10. Естественная механическая характеристика двигателя с параллельным возбуждением.
11. Влияние параметров двигателя с параллельным возбуждением на механические характеристики.
12. Пуск в ход двигателя с параллельным возбуждением.
13. Показатели регулирования скорости электродвигателей.
14. Регулирование скорости двигателя с параллельным возбуждением способом включения в цепь якоря добавочных сопротивлений.
15. Регулирование скорости двигателя с параллельным возбуждением способом шунтирования якоря.

16. Регулирование скорости двигателя с параллельным возбуждением способом ослабления магнитного потока.
17. Способы торможения в системе судового электропривода.
18. Сущность рекуперативного торможения (на примере двигателя с параллельным возбуждением).
19. Сущность динамического торможения (на примере двигателя с параллельным возбуждением).
20. Сущность торможения противовключением (на примере двигателя с параллельным возбуждением).
21. Естественная электромеханическая и механическая характеристики двигателя с последовательным возбуждением.
22. Способы регулирования скорости двигателя с последовательным возбуждением.
23. Торможения двигателя с последовательным возбуждением.
24. Механические характеристики двигателя со смешанным возбуждением.
25. Основные режимы работы двигателя со смешанным возбуждением.
26. Система генератор-двигатель и ее основные режимы работы.
27. Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя.
28. Механические характеристики асинхронных двигателей при симметричных режимах.
29. Способы пуска асинхронных двигателей в ход.
30. Способы регулирования скорости асинхронных двигателей.
31. Регулирование скорости АД с фазным ротором изменением активного сопротивления цепи ротора.
32. Регулирование скорости АД изменением числа пар полюсов.
33. Регулирование скорости АД изменением частоты тока питающей сети.
34. Рекуперативное торможение асинхронных двигателей.
35. Динамическое торможение асинхронных двигателей.
36. Торможение противовключением асинхронных двигателей.
37. Механическая и угловая характеристики синхронного двигателя.
38. Пуск, регулирование скорости и торможение синхронных двигателей.
39. Переходные процессы в электроприводах постоянного тока.
40. Переходные процессы в электроприводах переменного тока.
41. Механические и электромеханические переходные процессы.
42. Определение длительности переходных режимов.
43. Энергетика переходных процессов электроприводов.
44. Порядок проектирования электропривода.
45. Выбор типа и конструктивного исполнения электродвигателя.
46. Номинальная мощность и перегрузочная способность электропривода.
47. Определение мощности электродвигателя.
48. Нагрев и охлаждение электродвигателей.
49. Классификация режимов работы двигателей. Нагрузочные диаграммы.
50. Частотное управление электроприводов переменного тока.

## **Вопросы к промежуточной аттестации**

1. Общие принципы управления судовыми электроприводами.
2. Принципы автоматизации управления электроприводов постоянного и переменного.
3. Защита судового электропривода.
4. Общие принципы управления электроприводов с помощью статических преобразователей.
5. Импульсное управление электроприводов постоянного тока.
6. Управление электроприводами постоянного тока по системе «управляемый выпрямитель - двигатель».

7. Частотное управление электроприводов переменного тока. Автономные инверторы.
8. Основные характеристики и режимы работы рулевого электропривода.
9. Классификация рулевых электроприводов.
10. Основные характеристики и режимы работы электропривода якорно-швартовного устройства.
11. Работа электропривода при съемке с якоря. Нагрузочная диаграмма.
12. Основные характеристики и режимы работы электропривода грузоподъемных механизмов.
13. Классификация судовых грузоподъемных механизмов.
14. Нагрузочные диаграммы. Статические нагрузки электроприводов.
15. Динамические нагрузки электроприводов.
16. Выбор двигателя для механизма подъема.
17. Энергетика электродвигателей переменного тока в грузовом электроприводе.
18. Аппаратура управления и защиты в электроприводе грузового устройства. Требования, предъявляемые к аппаратуре.
19. Основные характеристики и режимы работы электроприводов судовых нагнетателей.
20. Электропривод поршневых насосов.
21. Выбор мощности для судового нагнетателя.
22. Выбор мощности для компрессора.
23. Электропривод подруливающего устройства. Основные требования, классификация.
24. Основные характеристики и режимы работы электропривода траловой лебедки.
25. Траловая лебедка. Нагрузочные режимы лебедки.
26. Оптимальная характеристика траловой лебедки при подъеме и спуске трала.
27. Виды защит, применяемых в схемах траловых лебедок.
28. Конструктивные особенности судовых электроприводов. Требования Регистра к судовым электроприводам.
29. Особенности работы судового электропривода при питании от источника соизмеримой мощности.
30. Способы пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.
31. Основные характеристики и режимы работы автоматизированного котлоагрегата.
32. Автоматизация пуска двигателя постоянного тока в функции ЭДС.
33. Автоматизация пуска двигателя постоянного тока в функции ЭДС и тока.
34. Автоматизация пуска двигателя постоянного тока в функции времени.
35. Автоматизация пуска двигателя постоянного тока в функции тока.
36. Автоматизация пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
37. Автоматизация пуска асинхронного двигателя с фазным ротором.
38. Управление динамическим торможением двигателя постоянного тока.
39. Управление динамическим торможением асинхронного двигателя.
40. Схема управления электроприводом грузоподъемного механизма.
41. Схема управления электроприводом якорно-швартовного устройства с магнитным контроллером.
42. Схема управления электроприводом якорно-швартовного устройства с командоконтроллером.
43. Схема управления электроприводом траловой лебедки.
44. Схема управления работой вод о охлаждающей машины.
45. Схема управления электропривода компрессора пускового воздуха.
46. Схема управления электропривода рулевого устройства.
47. Работа схемы управления автоматизированного котлоагрегата при изменении параметров пара.
48. Работа схемы управления автоматизированного котлоагрегата при изменении уровня питательной воды.
49. Схема управления двухскоростным асинхронным двигателем с фазным ротором.

50. Работа схемы управления автоматизированного котлоагрегата при падении давления топлива.

## Курсовой проект

№ этапа	Этапы работы студента над выполнением курсового проекта	Максимальное количество баллов
1	Получение задания по варианту.	
2	Разработка кинематической схему грузовой лебедки и брашпиля (шпиля) в соответствии с заданием.	5
3	Выполнение предварительного расчета и выбор электродвигателя по мощности, используя каталоги для электроприводов морских судов.	5
4	Построение механических характеристик выбранных двигателей.	10
5	Расчет и построение нагрузочной диаграммы, проверка соответствия выбранного двигателя.	10
6	Расчет и проверка выбранных двигателей на нагрев и провал напряжения.	10
7	Разработка схемы управления для рассчитанного электропривода.	10
8	Расчет и выбор коммутационной, защитной и аппаратуры управления для рассчитанного электропривода и его схемы.	5
9	Разработка каталога сечения кабелей, марки тормоза и монтажной схемы внешних соединений.	5
10	Сдача работы на проверку	20
11	Защита курсового проекта	20
	ИТОГО:	100

Цель работы заключается в освоении техники расчета силовой части электропривода, выбора электрооборудования, проверки корректности выбора и оптимизации состава системы, разработки принципиальной и структурной схем, определения параметров регуляторов и моделирования.

В отчете по работе должны быть представлены:

1. техническое задание с исходными данными;
2. рабочая диаграмма с расчетом рабочего цикла для механизмов циклического действия;
3. расчет моментов и мощностей механизма;
4. расчет и выбор редукторов;
5. расчет и выбор двигателей;
6. расчет и выбор преобразователя;
7. принципиальная схема;
8. расчет регуляторов и структурная схема системы управления;
9. исходные данные и результаты моделирования с диаграммами движения разомкнутой и замкнутой систем;
10. выводы по результатам проектирования.

Для оценивания *курсового проекта* возможно, использовать следующие критерии оценивания:

Код показателя оценивания	Зачтено	Не зачтено
Знания	Тема соответствует содержанию проекта; Широкий круг и адекватность использования литературных источников по проблеме; Правильное оформление ссылок на используемую литературу; Основные понятия проблемы изложены полно и глубоко; Отмечена грамотность и культура изложения; Соблюдены требования к оформлению и объему проекта.	Содержание не соответствует заявленной теме; Литературные источники выбраны не по теме, не актуальны; Нет ссылок на использованные источники информации; Тема не раскрыта; В изложении встречается большое количество орфографических и стилистических ошибок; Требования к оформлению и объему материала не соблюдены.

Умения	Материал систематизирован и структурирован; Сделаны обобщения и сопоставления различных точек зрения по рассматриваемому вопросу; Сделаны и аргументированы основные выводы; Отчетливо видна самостоятельность суждений	Структура реферата, доклада не соответствует требованиям; Содержание реферата, доклада не соответствует заявленной теме; Не проведен анализ материалов реферата, доклада; Нет выводов; Плагиат свыше 60%.
--------	---	---

## Опрос

**Опрос, коллоквиум** проводит преподаватель по всем темам дисциплины. Знания, умения, навыки студента при проведении опроса оцениваются «зачтено», «не зачтено». Основой для определения оценки служит уровень освоения студентами и студентками материала, предусмотренного данной рабочей программой.

Оценивание студента во время дискуссии, опроса по дисциплине «Судовой электропривод»

Оценка	Требования к знаниям
«Зачтено»	Оценка «зачтено» выставляется обучающемуся, который усвоил предусмотренный программный материал; правильно, с применением примеров, показал систематизированные знания по темам дисциплины, способен связать теорию с практикой, тему вопроса с другими темами данного курса, других изучаемых дисциплин.
«Не зачтено»	Оценка «не зачтено» выставляется в следующих случаях: 1. Обучающийся не справился с заданием, не может ответить на вопросы предложенные преподавателем, не обладает целостным представлением об изучаемой теме и ее взаимосвязях. 2. Ответ на вопрос полностью отсутствует. 3. Отказ от ответа.

### Тема: «Механика электропривода»

#### Вопросы для опроса

1. Какие элементы входят в состав электропривода?
2. Какие моменты действуют в системе электропривода в установившемся режиме?
3. Объясните понятия: статический момент, динамический момент, реактивный момент, активный момент.
4. Назовите причины возникновения переходных режимов в системе электропривода.
5. Назовите способы уменьшения длительности переходных процессов.
6. Что называется приведением системы к валу двигателя?
7. В чем состоит необходимость приведения моментов инерции и статических моментов?
8. Поясните сущность приведения моментов инерции и статических моментов к валу двигателя.
9. На основании уравнения движения приведите три возможных состояния электропривода.

### Тема «Электромеханические и регулировочные свойства электроприводов постоянного тока»

#### Вопросы для опроса

1. Что называется механической характеристикой электродвигателя?
2. Чем определяется степень жесткости механической характеристики?
3. В чем состоит отличие между естественными и искусственными характеристиками?
4. Что называется механической характеристикой рабочего механизма?
5. Что понимается под статической устойчивостью работы электропривода?
6. Как влияют на механическую характеристику двигателя постоянного тока параллельного возбуждения изменения параметров сети?
7. Как изменяется механическая характеристика двигателя постоянного тока последовательного возбуждения при шунтировании обмотки возбуждения?
8. Чем определяется потребляемый двигателем ток при пуске и во время работы?
9. Почему необходимо ограничивать пусковой ток электродвигателей?

10. Какие существуют способы электрического торможения двигателей постоянного тока?
11. При каком условии электродвигатель переходит в режим рекуперативного торможения?
12. Назовите показатели регулирования скорости электроприводов.
13. Какие существуют способы регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока?
14. В чем различие между нерегулируемыми и регулируемыми электроприводами?
15. До какой скорости разгоняется электродвигатель при пуске?

#### **Тема: «Электромеханические свойства электродвигателей переменного тока»**

##### **Вопросы для опроса**

1. Назовите характерные точки механической характеристики асинхронного двигателя.
2. Как влияет изменение параметров сети и обмоток двигателя на его механические свойства?
3. Что называется добротностью пуска и какими пусковыми свойствами характеризуется асинхронный двигатель?
4. Почему, потребляя большой ток при пуске, асинхронный двигатель создает незначительный пусковой момент?
5. Чем регламентируется возможность прямого пуска асинхронного двигателя?
6. Назовите и поясните способы электрического торможения асинхронных двигателей.
7. Что называется несимметричным режимом работы асинхронного двигателя?
8. Назовите способы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей.
9. Что называется угловой характеристикой синхронного двигателя?
10. В чем заключается особенность пуска синхронного двигателя?
11. Назовите особенности динамического торможения синхронного электродвигателя.

#### **Тема: «Выбор электродвигателей и проектирование электропривода»**

##### **Вопросы для опроса**

1. В чем заключается задача выбора электродвигателя?
2. Назовите основные факторы, определяющие выбор двигателя.
3. Что называется *нагрузочной диаграммой электропривода* и для каких целей она используется?
4. Поясните сущность протекания процессов нагревания и охлаждения в электрических машинах.
5. Назовите стандартные режимы работы судовых электродвигателей.
6. Чем объясняется требование повышенной надежности работы судовых электроприводов?
7. Почему электродвигатель длительного режима нельзя использовать в кратковременном режиме?

#### **Тема: «Управление электроприводами»**

##### **Вопросы для опроса**

1. Перечислите особенности характеристик судовых электродвигателей.
2. Перечислите конструктивные особенности и защищенность электродвигателей.
3. Каким образом осуществляется работа многоскоростных асинхронных двигателей в судовом приводе.
4. Расскажите о работе судового электропривода при изменении напряжения и частоты.
5. Расскажите о работе судового электропривода при питании от источника соизмеримой мощности.
6. Перечислите особенности аппаратуры управления и защиты судовых электроприводов.
7. Приведите классификацию, построение и правила чтения электрических схем.
8. Перечислите способы управления электропроводами.
9. Каким образом осуществляется работа магнитных усилителей в схемах управления.
10. Каким образом осуществляется работа тиристорных электроприводов.
11. Общие вопросы техники безопасности при эксплуатации электроприводов.
12. Каким образом обеспечивается защита судовых электроприборов.

#### **Тема: «Электроприводы рулевых устройств»**

##### **Вопросы для опроса**



1. Общая характеристика рулевых электроприводов и требования к ним.
2. Гидродинамические характеристики рулей и нагрузки на баллере.
3. Передаточные механизмы электроприводов рулевых устройств.
4. Нагрузочные диаграммы рулевых электроприводов.
5. Структурные схемы и кинематические механизмы управления РЭГ-приводами.
6. Электрические элементы схем управления рулем РЭГ-приводов.
7. Схемы управления РЭГ-приводами. Схемы управления секторными рулевыми электроприводами.
8. Мощность и энергетическое состояние ИД РЭМ-приводов.
9. Мощность и энергетическое состояние ИД РЭГ-приводов.
10. Системы автоматического управления рулем.
11. Эксплуатация рулевых электроприводов.

**Тема: «Электроприводы якорно-швартовых устройств»**

**Вопросы для опроса**

1. Назначение и основные элементы якорно-швартовых устройств.
2. Мощность электродвигателей системы управления и защиты якорно-швартовых устройств.
3. Состояния якорной цепи и нагрузочная диаграмма при съемке с якоря.
4. Энергетические показатели ИД в процессе съемки с якоря.
5. Режимы работы электропривода якорно-швартовых устройств.
6. Расчет электропривода якорно-швартовых устройств.
7. Схемы управления электроприводами якорно-швартовых устройств.
8. Автоматические швартовые лебедки.
9. Эксплуатация якорно-швартовых устройств.

**Тема: «Электроприводы грузовых устройств»**

**Вопросы для опроса**

1. Назначение и классификация грузоподъемных механизмов.
2. Режимы работы и нагрузочные диаграммы электропривода грузовых лебедок и кранов.
3. Электроприводы механизмов поворота и передвижения.
4. Энергетика электродвигателей в грузовом электроприводе.
5. Аппаратура управления и устройства защиты электроприводов грузоподъемников.
6. Автоматизированные системы управления электроприводами грузоподъемников.
7. Особенности электроприводов судовых лифтов.
8. Электроприводы шлюпочных волновых подъемников.
9. Особенности работы электрооборудования грузоподъемников с электрогидроприводом.
10. Расчет электропривода грузоподъемных устройств.
11. Схемы управления электроприводами грузовых лебедок и кранов.
12. Электроприводы буксирных лебедок.
13. Техническая эксплуатация электроприводов судовых грузоподъемных механизмов.

**Тема: «Электроприводы вспомогательных механизмов силовых установок и судовых систем»**

**Вопросы для опроса**

1. Основные параметры вспомогательных механизмов.
2. Электроприводы судовых насосов.
3. Электроприводы подруливающих устройств.
4. Электроприводы успокоителей качки.
5. Электроприводы автоматических буксирных лебедок.
6. Электроприводы системы открывания судов.
7. Электроприводы вентиляторов, воздуходувок и компрессоров.
8. Управление электроприводами вспомогательных устройств.

**Тестирование**

Для оценивания результатов **тестирования** возможно использовать следующие критерии оценивания:

- Правильность ответа или выбора ответа.
- Скорость прохождения теста.
- Наличие правильных ответов во всех проверяемых темах (дидактических единицах) теста,

### Тема: «Механика электропривода»

#### Тестовые задания:

1. Реактивный момент в системе электропривода является:

- а) двигательным;
- б) тормозным;
- в) может быть как двигательным, так и тормозным.

2. Каким устройством является электропривод?

- а) электрическим;
- б) механическим;
- в) электромеханическим.

3. Какой элемент не входит в состав электропривода?

- а) исполнительный механизм;
- б) управляющее устройство;
- в) преобразовательное устройство.

4. Активный момент в системе электропривода является:

- а) двигательным;
- б) тормозным;
- в) может быть как двигательным, так и тормозным.

5. Какое выражение не является уравнением движения электропривода?

- а)  $M = M_{cm}$ ;
- б)  $M - M_{cm} = M_{дин}$ ;
- в)  $\pm M \mp M_{cm} = J \frac{d\omega}{dt}$ .

6. Какое выражение характеризует установившийся режим работы?

- а)  $M = M_{cm}$ ;
- б)  $M - M_{cm} = M_{дин}$ ;
- в)  $\pm M \mp M_{cm} = J \frac{d\omega}{dt}$ .

7. Какой процесс происходит в системе электропривода, если динамический момент положителен?

- а) торможение;
- б) разгон;
- в) движение с постоянной скоростью.

8. Какой процесс происходит в системе электропривода, если  $M < M_{cm}$  ?

- а) торможение;
- б) разгон;
- в) движение с постоянной скоростью.

9. Решение какого уравнения позволяет определить время свободного выбега двигателя?

- а)  $t = J_{дв} \int_0^{\omega_0} \frac{d\omega}{M_n} = J_{дв} \frac{\omega_0}{M_n}$ ;
- б)  $t = J_{np} \int_0^{\omega_{cm}} \frac{d\omega}{M_n - M_{cm}} = J_{np} \frac{\omega_{cm}}{M_n - M_{cm}}$ ;

$$в) t = J_{np} \int_0^{\omega_{cm}} \frac{d\omega}{M_{cm}} = J_{np} \frac{\omega_{cm}}{M_{cm}}$$

10. Решение какого уравнения позволяет определить время пуска двигателя в холостую?

$$а) t = J_{\partial\epsilon} \int_0^{\omega_0} \frac{d\omega}{M_n} = J_{\partial\epsilon} \frac{\omega_0}{M_n};$$

$$б) t = J_{np} \int_0^{\omega_{cm}} \frac{d\omega}{M_n - M_{cm}} = J_{np} \frac{\omega_{cm}}{M_n - M_{cm}};$$

$$в) t = J_{np} \int_0^{\omega_{cm}} \frac{d\omega}{M_{cm}} = J_{np} \frac{\omega_{cm}}{M_{cm}}$$

11. Решение какого уравнения позволяет определить время пуска двигателя под нагрузкой?

$$а) t = J_{\partial\epsilon} \int_0^{\omega_0} \frac{d\omega}{M_n} = J_{\partial\epsilon} \frac{\omega_0}{M_n};$$

$$б) t = J_{np} \int_0^{\omega_{cm}} \frac{d\omega}{M_n - M_{cm}} = J_{np} \frac{\omega_{cm}}{M_n - M_{cm}};$$

$$в) t = J_{np} \int_0^{\omega_{cm}} \frac{d\omega}{M_{cm}} = J_{np} \frac{\omega_{cm}}{M_{cm}}$$

12. При каком значении показателя крутизны  $\beta$  механическая характеристика является мягкой?

а)  $\beta > 10\%$

б)  $\beta < 10\%$

в)  $\beta = 0$ .

13. При каком значении показателя крутизны  $\beta$  механическая характеристика является жёсткой?

а)  $\beta > 10\%$

б)  $\beta < 10\%$

в)  $\beta = 0$ .

14. При каком значении показателя крутизны  $\beta$  механическая характеристика является абсолютно жёсткой?

а)  $\beta > 10\%$

б)  $\beta < 10\%$

в)  $\beta = 0$ .

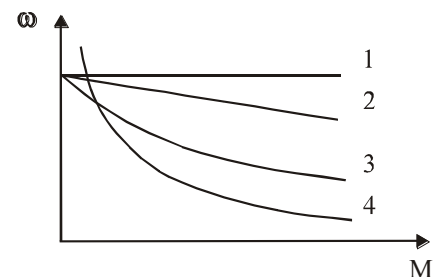
15. Какая из представленных на рисунке характеристик является механической характеристикой двигателя с последовательным возбуждением?

а) 1;

б) 2;

в) 3;

г) 4.



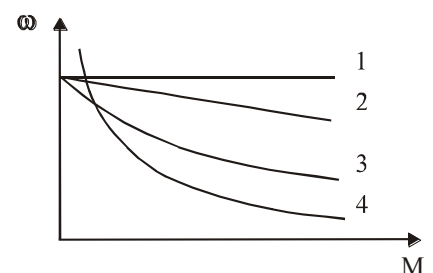
16. Какая из представленных на рисунке характеристик является механической характеристикой двигателя с параллельным возбуждением?

а) 1;

б) 2;

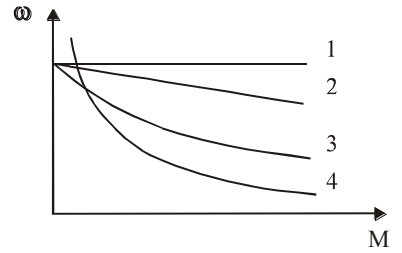
в) 3;

г) 4.

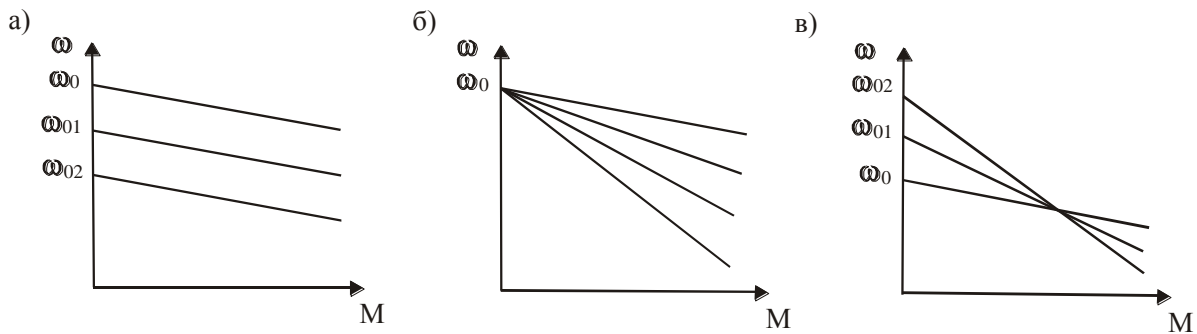


17. Какая из предъявленных на рисунке характеристик является механической характеристикой двигателя со смешанным возбуждением?

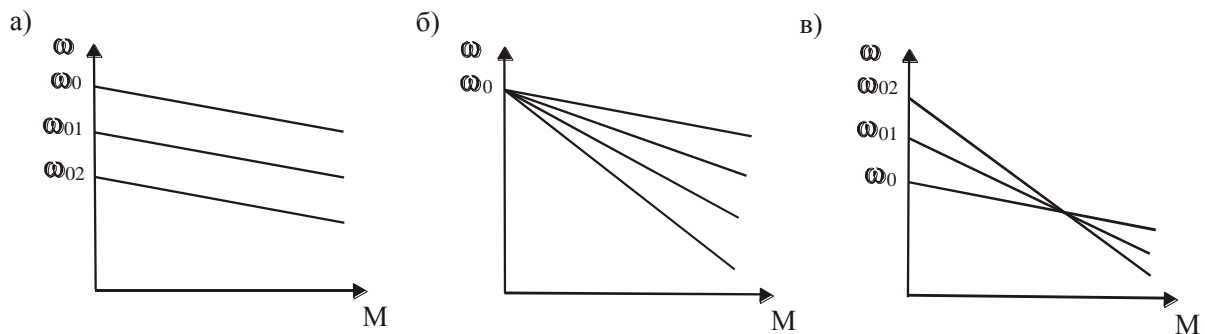
- а) 1;
- б) 2;
- в) 3;
- г) 4.



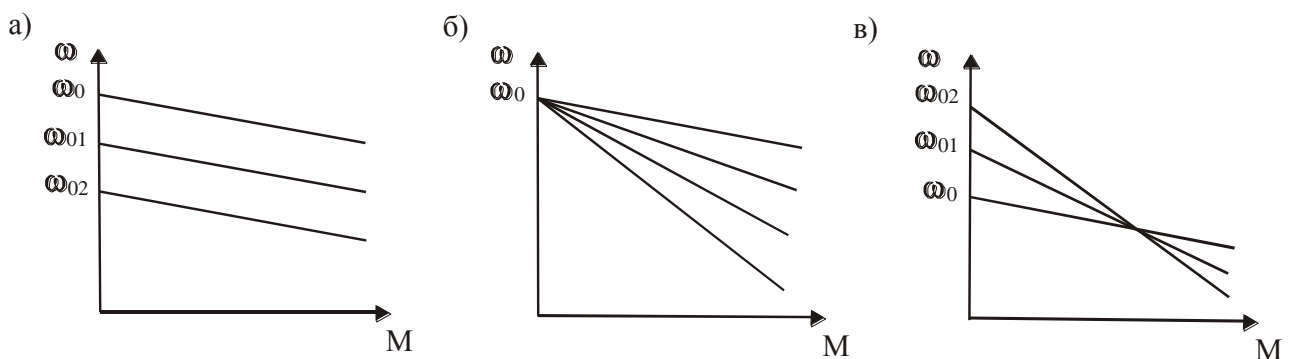
18. На каком рисунке семейство искусственных характеристик отражает изменение магнитного потока полюсов?



19. На каком рисунке семейство искусственных характеристик отражает изменение напряжения в цепи якоря?



20. На каком рисунке семейство искусственных характеристик отражает изменение сопротивления в цепи якоря?



**Тема: «Электромеханические и регулировочные свойства электроприводов постоянного тока»**

## Расчетно-графическая работа:

Судовой механизм приводится в движение двигателем постоянного тока параллельного возбуждения. Пуск электропривода предполагается осуществлять с помощью реостата в  $m$  ступеней.

1. Определить количество пусковых ступеней.
2. Построить пусковые реостатные характеристики двигателя.
3. Определить значение сопротивления пускового реостата.
4. Определить время разгона электропривода до номинальной угловой скорости.

Каталожные данные двигателя указаны в таблице.

Величины	Варианты контрольного задания														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Тип двигателя	П51 М	П52 М	П61 М	П62 М	П71 М	П72 М	П62 М	П71 М	П72 М	П51 М	П42 М	П62 М	П61 М	П40 М	П42 М
U <sub>ном</sub> , В	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
P <sub>ном</sub> , кВт	7,4	8,8	12	16	20	25	8,5	11	14,5	6,4	4,2	6,8	7	6,1	11
n <sub>ном</sub> , об/мин	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1000	1000	1000	1400	1400	750	1000	3000	3000
I <sub>ном</sub> , А	41,8	48	65	85	110	134	46,4	64	82,5	36,6	24,7	30,1	39,4	35	59
R <sub>дв</sub> , Ом	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,21	0,16	0,16	0,17	0,13	0,13	0,32	0,14	0,12	0,16
J <sub>дв</sub> , кг·м <sup>2</sup>	0,313	0,38	0,56	0,65	1,4	1,6	0,65	1,4	1,6	0,313	0,178	0,65	0,56	0,134	0,178

Данные механизма:

- приведенный к валу двигателя момент инерции механизма  $J_M = 0,7 J_{дв}$ ;
- приведенный к валу двигателя момент статической нагрузки  $M_{ст} = 0,8 M_{ном}$  двигателя.

### Тестовые задания:

1. Для получения режима торможения противовключением в системе электропривода постоянного тока с параллельным возбуждением необходимо:
  - а) изменить полярность приложенного к якорю двигателя напряжения;
  - б) якорь двигателя отключить от сети и замкнуть на тормозное сопротивление;
  - в) усилить магнитный поток полюсов.
2. Какой способ включения обмоток применяется в двигателях постоянного тока со смешанным возбуждением?
  - а) встречное включение;
  - б) согласное включение;
  - в) раздельное включение.
3. Для получения режима динамического торможения в системе электропривода постоянного тока с параллельным возбуждением необходимо:
  - а) изменить полярность приложенного к якорю двигателя напряжения;
  - б) якорь двигателя отключить от сети и замкнуть на тормозное сопротивление;
  - в) усилить магнитный поток полюсов.
4. При токе якоря  $I = 2I_H$  в двигателе постоянного тока с последовательным возбуждением момент на валу увеличивается:
  - а) в 2 раза;
  - б) в 2,5 раза;
  - в) в 4 раза.
5. Для получения режима рекуперативного торможения в системе электропривода постоянного тока с параллельным возбуждением необходимо:
  - а) изменить полярность приложенного к якорю двигателя напряжения;
  - б) якорь двигателя отключить от сети и замкнуть на тормозное сопротивление;
  - в) усилить магнитный поток полюсов.

6. Какой из перечисленных способов торможения не может быть осуществлен для двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением?
- рекуперативное торможение;
  - динамическое торможение;
  - торможение противовключением.
7. Для двигателя последовательного возбуждения недопустимо снижение нагрузки во время работы от номинального значения менее:
- 10 %;
  - 20 %;
  - 30 %.
8. Для двигателей постоянного тока смешанного возбуждения серии ДПМ соотношение МДС параллельной и последовательной обмотки должно составлять:
- 0,5 : 0,5;
  - 0,35 : 0,65;
  - 0,65 : 0,35.
9. В электроприводе с двигателем смешанного возбуждения режим динамического торможения обеспечивается:
- обмоткой последовательного возбуждения;
  - обмоткой параллельного возбуждения;
  - необходимы обе обмотки возбуждения.
10. Какое из представленных выражений является уравнением движения двигателя с параллельным возбуждением?
- $\omega = \frac{U}{c\Phi} - \frac{R}{(c\Phi)^2} M$  ;
  - $\omega = \frac{2\pi f}{p} (1 - s)$ ;
  - $\omega = \frac{2\pi f}{p}$ .
11. Статическая устойчивость электропривода обеспечивается при условии, когда:
- $\frac{dM}{dn} = \frac{dM_c}{dn}$  .;
  - $\frac{dM}{dn} < \frac{dM_c}{dn}$  ;
  - $\frac{dM}{dn} > \frac{dM_c}{dn}$  ..
12. Неустойчивая работа электропривода имеет место при условии:
- $\frac{dM}{dn} = \frac{dM_c}{dn}$  .;
  - $\frac{dM}{dn} < \frac{dM_c}{dn}$  ;
  - $\frac{dM}{dn} > \frac{dM_c}{dn}$  ..
13. Диапазон регулирования скорости электропривода определяется:
- отношением двух скоростей на соседних ступенях регулирования;
  - изменением скорости при отклонении статического момента;
  - отношением возможной максимальной скорости к минимальной.
14. Плавность регулирования скорости электропривода определяется:
- отношением двух скоростей на соседних ступенях регулирования;

- б) изменением скорости при отклонении статического момента;  
в) отношением возможной максимальной скорости к минимальной.
15. Какое выражение для ЭДС машины постоянного тока является неверным?

а)  $E_a = \frac{pN}{60a} \Phi n$ ;

б)  $E_a = c_e \Phi n$ ;

в)  $E_a = \frac{pN}{2\pi a} \Phi n$ .

16. Какое выражение для электромагнитного момента машины постоянного тока является неверным?

а)  $M = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a$ ;

б)  $M = c_m \Phi I_a$ ;

в)  $M = \frac{pN}{60a} \Phi I_a$ .

17. Стабильность работы электропривода на заданной скорости определяется:

- а) отношением двух скоростей на соседних ступенях регулирования;  
б) изменением скорости при отклонении статического момента;  
в) отношением возможной максимальной скорости к минимальной.

18. Жесткость механической характеристики в большей степени влияет:

- а) на плавность регулирования;  
б) на диапазон регулирования;  
в) на стабильность работы.

19. У двигателей постоянного тока смешанного возбуждения последовательная обмотка возбуждения способствует:

- а) увеличению пускового момента;  
б) увеличению скорости холостого хода  
в) увеличению момента инерции.

20. У двигателей постоянного тока смешанного возбуждения последовательная обмотка возбуждения способствует:

- а) снижению пускового момента;  
б) снижению скорости холостого хода  
в) снижению момента инерции.

### **Тема: «Электромеханические свойства электродвигателей переменного тока»**

#### **Тестовые задания**

1. Как изменяется скольжение  $s$  асинхронного двигателя по мере разгона при пуске до скорости холостого хода?

- а) от нуля до значения близкого к единице;  
б) от единицы до значения близкого к нулю;  
в) остается постоянным.

2. При переключении асинхронного двигателя серии МАП на тихоходную обмотку его КПД:

- а) не изменяется;  
б) увеличивается;  
в) снижается.

3. Какой способ регулирования скорости асинхронного двигателя является наиболее оптимальным в современных условиях?

- а) изменением числа пар полюсов двигателя  $p$ ;  
б) изменением активного сопротивления цепи статора  $r$ ;

в) изменением частоты тока питающей сети  $f$ .

4. Какой способ регулирования скорости не применим для короткозамкнутых асинхронных двигателей?

- а) изменением скольжения  $s$ ;
- б) изменением числа пар полюсов двигателя  $p$ ;
- в) изменением частоты тока питающей сети  $f$ .

5. Какой способ регулирования скорости применим только для двигателей с фазным ротором?

- а) изменением скольжения  $s$ ;
- б) изменением числа пар полюсов двигателя  $p$ ;
- в) изменением частоты тока питающей сети  $f$ .

6. Как изменяется частота скольжения  $f_2$  асинхронного двигателя по мере разгона при пуске до скорости холостого хода?

- а) от 0 Гц до 50 Гц;
- б) от 1-2 Гц до 50 Гц;
- в) от 50 Гц до 1-2 Гц.

7. Какое из предъявленных выражений является уравнением движения синхронного двигателя?

а)  $\omega = \frac{U}{c\Phi} - \frac{R}{(c\Phi)^2} M$  ;

б)  $\omega = \frac{2\pi f}{p}(1-s)$ ;

в)  $\omega = \frac{2\pi f}{p}$ .

8. Какое из предъявленных выражений является уравнением движения асинхронного двигателя?

а)  $\omega = \frac{U}{c\Phi} - \frac{R}{(c\Phi)^2} M$  ;

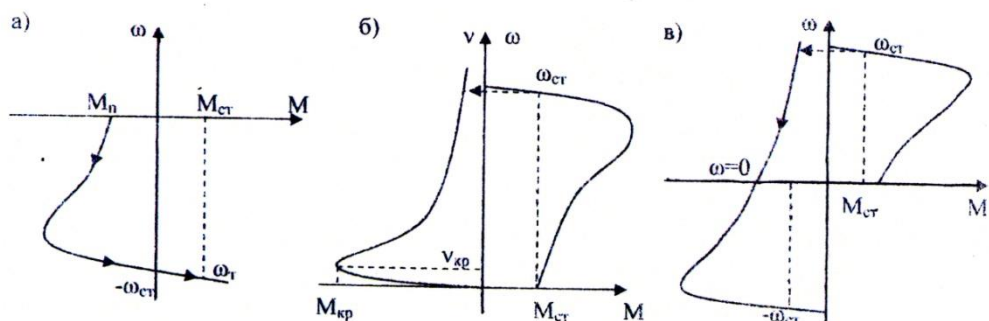
б)  $\omega = \frac{2\pi f}{p}(1-s)$ ;

в)  $\omega = \frac{2\pi f}{p}$ .

9. Координатами каких трёх точек определяется механическая характеристика асинхронного двигателя:

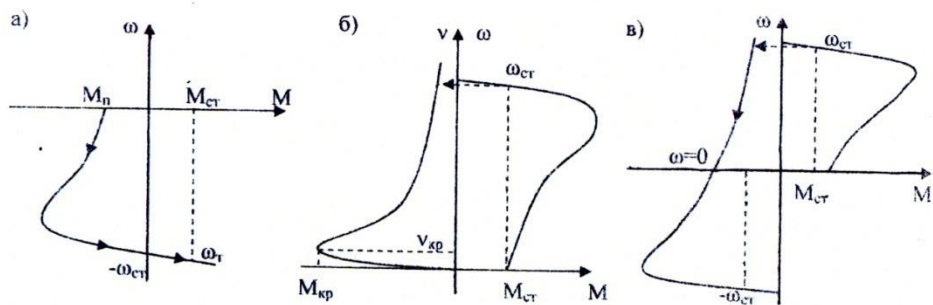
- а)  $(M = 0; \omega = 0)$ ;  $(M = M_{cm}; \omega = \omega_{cm})$ ;  $(M = M_n; \omega = \omega_c)$ ;
- б)  $(M = 0; \omega = \omega_c)$ ;  $(M = M_{кр}; \omega = \omega_{кр})$ ;  $(M = M_n; \omega = 0)$ ;
- в)  $(M = M_n; \omega = \omega_n)$ ;  $(M = M_{кр}; \omega = \omega_{кр})$ ;  $(M = M_{cm}; \omega = 0)$ .

10. Какая из представленных характеристик асинхронного двигателя характеризует режим торможения противовключением?





11. Какая из представленных характеристик характеризует режим рекуперативного торможения асинхронного двигателя?



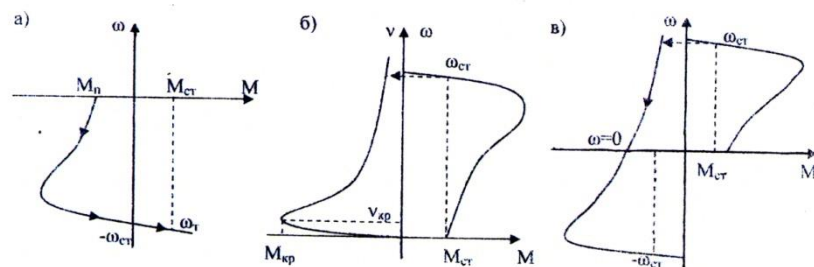
12. Какая из представленных характеристик характеризует режим динамического торможения асинхронного двигателя?

13. Какому режиму работы асинхронного двигателя соответствует выражение  $-\infty < s < 0$  ?

- а) двигательный режим;
- б) генераторный режим;
- в) торможение противовключением;
- г) динамическое торможение.

14. Как изменяется частота  $f_2$  ЭДС (тока) ротора при пуске асинхронного двигателя?

- а) уменьшается от 50 Гц до 0;
- б) уменьшается от 50 Гц до  $\approx 2,5$  Гц;
- в) возрастает от 0 до 50 Гц;
- г) не изменяется.



15. Полезной мощностью асинхронного двигателя является:

- а)  $P_1$ ;
- б)  $P_2$ ;
- в)  $P_{эм}$ ;
- г)  $\Delta P$ .

16. При изменении нагрузки синхронной машины от ХХ до номинальной значение реакции якоря:

- а) уменьшает;
- б) увеличивается;
- в) не изменяется;
- г) не зависит от нагрузки.

17. Какому режиму работы асинхронного двигателя соответствует выражение  $1 < s < +\infty$  ?

- а) двигательный режим;
- б) генераторный режим;
- в) торможение противовключением;
- г) динамическое торможение.

18. Отличительной конструктивной особенностью асинхронного двигателя с фазным ротором является наличие:

- а) коллектора;
- б) короткозамыкающих колец;

- в) контактных колец;
  - г) системы самовозбуждения.
19. Какой способ торможения синхронных двигателей нашёл практическое применение?
- а) рекуперативное торможение;
  - б) динамическое торможение;
  - в) торможение противовключением.
20. При каком угле  $\theta$  синхронный двигатель развивает номинальный момент  $M_H$  ?
- а)  $\theta_H = 25 \div 30^\circ$ ;
  - б)  $\theta_H = 50 \div 60^\circ$ ;
  - в)  $\theta_H = 90^\circ$ .

### **Тема: «Выбор электродвигателей и проектирование электропривода»**

#### **Тестовые задания**

1. Нагрузочная диаграмма определяет зависимость:
  - а)  $n = f(M)$ ;
  - б)  $\omega = f(t)$ ;
  - в)  $I = f(t)$ .
2. Для построения нагрузочной диаграммы необходимо знать:
  - а) параметры рабочего механизма;
  - б) параметры электродвигателя;
  - в) значение статического момента рабочего механизма и параметры электродвигателя.
3. Превышение температуры сверх допустимых значений на 8 – 10 °С сокращает срок службы электрической машины примерно:
  - а) в 1,5 раза;
  - б) в 2 раза;
  - в) в 2,5 раза.
4. В судовых условиях за нормальную температуру окружающей среды принимается температура:
  - а) 20 °С;
  - б) 30 °С;
  - в) 40 °С.
5. Процесс нагревания электрической машины происходит:
  - а) по синусоидальному закону;
  - б) по экспоненциальному закону;
  - в) по закону Кирхгофа.
6. Режим работы электродвигателя при неизменной номинальной нагрузке, продолжающийся столько времени, что превышение температуры всех частей двигателя над неизменной температурой окружающей среды достигает установившихся значений, называется:
  - а) кратковременным режимом;
  - б) повторно-кратковременным режимом;
  - в) продолжительным режимом.
7. Режим работы электродвигателя, при котором периоды неизменной номинальной нагрузки при постоянной температуре окружающей среды чередуются с периодами отключения двигателя, называется:
  - а) кратковременным режимом;
  - б) повторно-кратковременным режимом;
  - в) продолжительным режимом.
8. Режим работы электродвигателя при котором кратковременные периоды неизменной номинальной нагрузки при постоянной температуре окружающей среды чередуются с кратковременными периодами отключения двигателя, называется:
  - а) кратковременным режимом;
  - б) повторно-кратковременным режимом;

в) продолжительным режимом.

9. Какой режим характеризуется значением  $PВ\% = \frac{t_{ц}}{t_{ц} + t_{п}} 100\%$  ?

а) кратковременный режим;

б) повторно-кратковременный режим;

в) продолжительный режим.

10. Электроприводы судовых вспомогательных механизмов обычно работают:

а) в длительном режиме;

б) в кратковременном режиме;

в) в повторно-кратковременном режиме.

11. Продолжительная неизменная нагрузка характерна для работы электроприводов:

а) поршневых насосов;

б) центробежных насосов;

в) компрессоров.

12. Продолжительная переменная нагрузка характерна для работы электроприводов:

а) поршневых насосов;

б) центробежных насосов;

в) вентиляторов.

13. Электроприводы якорно-швартового устройства работают:

а) в длительном режиме;

б) в кратковременном режиме;

в) в повторно-кратковременном режиме.

14. Электропривод грузовой лебедки работает:

а) в длительном режиме;

б) в кратковременном режиме;

в) в повторно-кратковременном режиме.

15. Электропривод якорно-швартового устройства выполняется:

а) реверсивным, без регулирования скорости;

б) не реверсивным, без регулирования скорости;

в) реверсивным, с регулированием скорости.

16. Электропривод грузовой лебедки выполняется:

а) реверсивным, без регулирования скорости;

б) не реверсивным, без регулирования скорости;

в) реверсивным, с регулированием скорости.

17. Электроприводы судовых вспомогательных механизмов обычно выполняются:

а) реверсивными, без регулирования скорости;

б) не реверсивными, без регулирования скорости;

в) реверсивными, с регулированием скорости.

18. Электропривод траловой лебедки работает:

а) в длительном режиме;

б) в кратковременном режиме;

в) в повторно-кратковременном режиме.

19. Электропривод траловой лебедки выполняется:

а) реверсивным, без регулирования скорости;

б) не реверсивным, без регулирования скорости;

в) реверсивным, с регулированием скорости.

20. Электропривод буксирной лебедки работает:

а) в длительном режиме;

б) в кратковременном режиме;

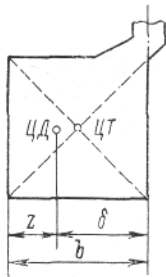
в) в повторно-кратковременном режиме.

**Тема: «Электроприводы рулевых устройств»**

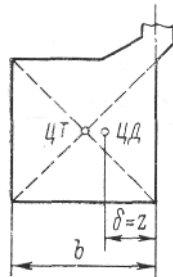
**Тестовые задания:**

1. Как расположена ось вращения у обыкновенного руля?
  - а) делит плоскость пера на две части;
  - б) совпадает с задней кромкой руля;
  - в) совпадает с передней кромкой руля.
2. Как расположена ось вращения у балансирного руля?
  - а) делит плоскость пера на две части;
  - б) совпадает с задней кромкой руля;
  - в) совпадает с передней кромкой руля.
3. Наибольшее распространение в рулевых устройствах получили:
  - а) механические передачи;
  - б) электромеханические передачи;
  - в) электрогидравлические передачи.
6. Рулевые устройства на морских судах допускают перекладку руля на угол:
  - а)  $\alpha_{\max} = 25^\circ$ ;
  - б)  $\alpha_{\max} = 35^\circ$ ;
  - в)  $\alpha_{\max} = 45^\circ$ .
7. На каком рисунке представлено плечо силы давления воды на обыкновенный руль при переднем ходе?

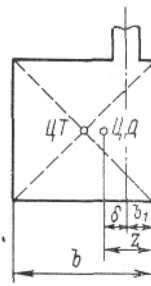
а)



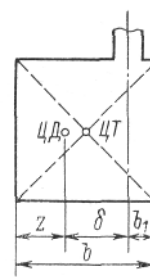
б)



в)

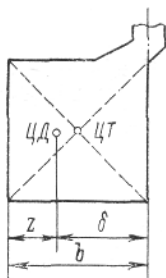


г)

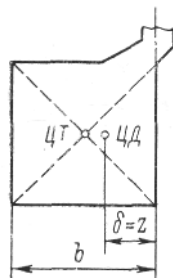


8. На каком рисунке представлено плечо силы давления воды на обыкновенный руль при заднем ходе?

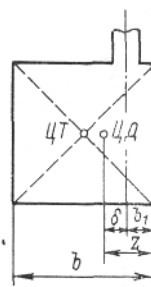
а)



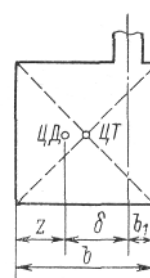
б)



в)

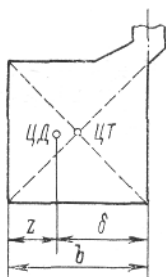


г)

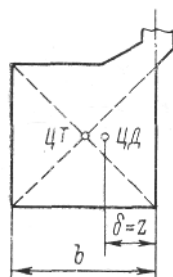


9. На каком рисунке представлено плечо силы давления воды на балансирный руль при переднем ходе?

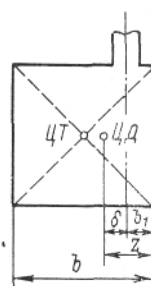
а)



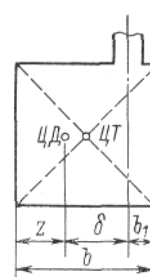
б)



в)

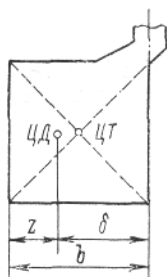


г)

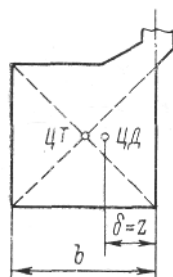


10. На каком рисунке представлено плечо силы давления воды на балансирный руль при заднем ходе?

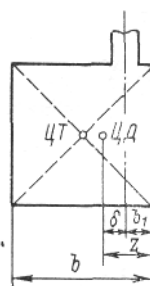
а)



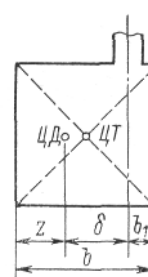
б)



в)



г)



### Тема: «Электроприводы якорно-швартовых устройств»

#### Тестовые задания:

1. Что такое «контрфорс»?

- а) устройство для соединения якоря и якорной цепи;
- б) механический стопор для якорной цепи;
- в) распорка звена якорной цепи.

2. Сколько стадий включает в себя подъем одного якоря с нормальной глубины стоянки?

- а) три;
- б) четыре;
- в) пять.

3. По Правилам Регистра, съёмка судна с якоря должна длиться не более:

- а) 30 мин;
- б) 45 мин;
- в) 1 часа.

4. По Правилам Регистра, средняя скорость подъема одного якоря должна быть не менее:

- а) 20 м/мин;
- б) 15 м/мин;
- в) 10 м/мин.

5. Электроприводы якорно-швартового устройства работают:

- а) в длительном режиме;
- б) в кратковременном режиме;
- в) в повторно-кратковременном режиме.

6. Электропривод якорно-швартового устройства выполняется:

- а) реверсивным, без регулирования скорости;
- б) не реверсивным, без регулирования скорости;
- в) реверсивным, с регулированием скорости.

### Тема: «Электроприводы грузовых устройств»

#### Тестовые задания:

1. Электропривод грузовой лебедки работает:

- а) в длительном режиме;
- б) в кратковременном режиме;
- в) в повторно-кратковременном режиме.

2. Электропривод грузовой лебедки выполняется:

- а) реверсивным, без регулирования скорости;
- б) не реверсивным, без регулирования скорости;
- в) реверсивным, с регулированием скорости.

3. Электропривод буксирной лебедки работает:

- а) в длительном режиме;
- б) в кратковременном режиме;
- в) в повторно-кратковременном режиме.

4. Электропривод буксирной лебедки выполняется:
  - а) реверсивным, без регулирования скорости;
  - б) не реверсивным, без регулирования скорости;
  - в) реверсивным, с регулированием скорости.
5. Электропривод траловой лебедки работает:
  - а) в длительном режиме;
  - б) в кратковременном режиме;
  - в) в повторно-кратковременном режиме.
6. Электропривод траловой лебедки выполняется:
  - а) реверсивным, без регулирования скорости;
  - б) не реверсивным, без регулирования скорости;
  - в) реверсивным, с регулированием скорости.

**Тема: «Электроприводы вспомогательных механизмов силовых установок и судовых систем»**

**Тестовые задания:**

1. Электроприводы судовых вспомогательных механизмов обычно работают:
  - а) в длительном режиме;
  - б) в кратковременном режиме;
  - в) в повторно-кратковременном режиме.
2. Электроприводы судовых вспомогательных механизмов обычно выполняются:
  - а) реверсивными, без регулирования скорости;
  - б) не реверсивными, без регулирования скорости;
  - в) реверсивными, с регулированием скорости.
3. Приводные электродвигатели рулевой гидравлической машины работают:
  - а) в длительном режиме;
  - б) в кратковременном режиме;
  - в) в повторно-кратковременном режиме.
4. Электропривод рулевой гидравлической машины выполняется:
  - а) реверсивным, без регулирования скорости;
  - б) не реверсивным, без регулирования скорости;
  - в) реверсивным с регулированием скорости.
5. Сколько насосов переменной производительности имеют электрогидравлические рулевые машины?
  - а) один;
  - б) два;
  - в) три.

#### **4 Методические материалы определяющие, процедуры оценивания знаний, умений, навыков и или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Оценка знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций по дисциплине проводятся в форме текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

Текущий контроль проводится в течение сессии с целью определения уровня усвоения обучающимися знаний, формирования умений и навыков, своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по её коррективке, а так же для совершенствования методики обучения, организации учебной работы и оказания индивидуальной помощи обучающемуся.

Промежуточная и итоговая аттестации по дисциплине проводится в виде опроса и контрольного тестирования.

За знания, умения и навыки, приобретенные обучающимися в период их обучения, выставляются оценки: «ОТЛИЧНО», «ХОРОШО», «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО», «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО».

Процедура оценивания – порядок действий при подготовке и проведении аттестационных испытаний и формировании оценки.

Аттестационные испытания проводятся ведущим преподавателем по данной дисциплине. Присутствие посторонних лиц в ходе проведения аттестационных испытаний без разрешения ректора или проректора не допускается (за исключением работников университета, выполняющих контролирующие функции в соответствии со своими должностными обязанностями). В случае отсутствия ведущего преподавателя аттестационные испытания проводятся преподавателем, назначенным письменным распоряжением заведующим кафедрой.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допускаются на аттестационные испытания в сопровождении ассистентов-сопровождающих.

– Во время аттестационных испытаний обучающиеся могут пользоваться программой учебной дисциплины, а также с разрешения преподавателя справочной и нормативной литературой, калькуляторами.

– Время подготовки ответа при сдаче зачета/экзамена в устной форме должно составлять не менее 20/30 минут соответственно, (по желанию обучающегося ответ может быть досрочным). Время ответа – не более 15 минут.

– Оценка результатов устного аттестационного испытания объявляется обучающимся в день его проведения. При проведении письменных аттестационных испытаний или компьютерного тестирования – в день их проведения или не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

– Результаты выполнения аттестационных испытаний, проводимых в письменной форме, форме итоговой контрольной работы или компьютерного тестирования, должны быть объявлены обучающимся и выставлены в зачётные книжки не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

Итоговая оценка выставляется по следующим критериям:

**Оценка «отлично»** выставляется за глубокое знание предусмотренного программой материала, содержащегося в основных и дополнительных рекомендованных литературных источниках, за умение четко, лаконично и логически последовательно отвечать на поставленные вопросы, за умение анализировать изучаемые явления в их взаимосвязи и диалектическом развитии, применять теоретические положения при решении практических задач; обучающийся подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Оценка «хорошо»** выставляется за твердое знание основного (программного) материала, включая расчеты (при необходимости), за грамотные, без существенных неточностей ответы на поставленные вопросы, за умение применять теоретические положения для решения практических задач; обучающийся демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Оценка «удовлетворительно»** выставляется за общее знание только основного материала, за ответы, содержащие неточности или слабо аргументированные, с нарушением последовательности изложения материала, за слабое применение теоретических положений при решении практических задач; обучающийся подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой на минимально допустимом уровне.

**Оценка «неудовлетворительно»** выставляется за незнание значительной части программного материала, за существенные ошибки в ответах на вопросы, за неумение ориентироваться в расчетах, за незнание основных понятий дисциплины, не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Камчатский государственный технический университет»

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

## **СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ**

Методические указания к лабораторной работе  
*для студентов,*  
*обучающихся по направлению подготовки*  
*13.03.02*  
*«Электроэнергетика и электротехника»*  
*профиль «Электрооборудование и*  
*автоматика судов»*  
*заочной формы обучения*

Петропавловск-Камчатский  
2024



**Мясников Глеб Сергеевич, доцент кафедры ЭУЭС**

Судовые электроприводы: методические указания к лабораторной работе по дисциплине для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» заочной формы обучения / Г.С. Мясников – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2024. – с.46

Методические указания к лабораторной работе составлены в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов», утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28 февраля 2018 г. № 144 (уровень бакалавриат).

Обсуждены:

на заседании кафедры ЭУЭС «17» октября 2024 г., протокол № 4  
Зав. кафедрой ЭУЭС  О.А. Белов

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Судовые электроприводы» рассмотрены и утверждены на заседании УМС протокол № 2 от «02» октября 2024 г.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Лабораторная работа студентов (ЛРС) по дисциплине «Судовые электроприводы» является важной составляющей частью подготовки студентов по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» и выполняется в соответствии с ФГОС ВО. Основной целью ЛРС является:

- развитие навыков ведения самостоятельной работы;
- приобретение опыта систематизации полученных результатов исследований, формулировку новых выводов и предложений как результатов выполнения работы;
- развитие умения использовать научно-техническую литературу и нормативно-методические материалы в практической деятельности;
- приобретение опыта публичной защиты результатов самостоятельной работы.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» изучение дисциплины «Судовые электроприводы» направлено на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

- способность производить оценку технического состояния электрооборудования (ПК-1);
- способность планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования (ПК-3).

1.2. В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- нормальные, аварийные, послеаварийные и ремонтные режимы работы отдельных воздушных и кабельных линий электропередачи, допустимые перегрузки по току и температурам воздушных и кабельных линий электропередачи;
- марки, конструктивное исполнение кабелей; основы трудового законодательства Российской Федерации в объеме, необходимом для выполнения трудовых обязанностей;
- передовой производственный опыт организации эксплуатации и ремонта линий электропередачи;
- порядок сдачи в ремонт и приемки из ремонта кабельных линий электропередачи;
- правила пользования инструментом и приспособлениями, применяемыми при ремонте и монтаже энергетического оборудования;
- правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей;
- технические характеристики, конструктивные особенности основного оборудования и сооружений воздушных и кабельных линий;

- организационно-распорядительные, нормативно-технические и методические документы по вопросам эксплуатации высоковольтных линий электропередачи;
- основы экономики и организации производства, труда и управления в энергетике;
- правила технической эксплуатации электрических станций, сетей: техническое обслуживание и ремонт силовых кабелей;
- правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей.

1.3. В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

- вести техническую и отчетную документацию;
- выявлять дефекты на кабельных линиях электропередачи;
- применять справочные материалы, анализировать научно-техническую информацию в области эксплуатации кабельных линий электропередачи;
- применять автоматизированные системы мониторинга и диагностики кабельных линий;
- работать с текстовыми редакторами, электронными таблицами, электронной почтой и браузерами, специализированными компьютерными программами;
- планировать и организовывать работу подчиненных работников;
- применять автоматизированные системы мониторинга и диагностики кабельных линий электропередачи;
- проводить визуальные и инструментальные обследования и испытания;
- разрабатывать предложения по текущему и перспективному планированию работ по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередач.

1.4. В результате изучения дисциплины студент должен владеть:

- навыками подготовки, согласования и передачи исполнителям ремонта утвержденных дефектных ведомостей, проектов проведения работ, карт организации труда и технологической ремонтной документации, необходимой для производства работ на закрепленном оборудовании;
- подготовки статистической отчетности в соответствии с утвержденным перечнем;
- проведения тренировок, занятий по отработке действий персонала при чрезвычайных ситуациях, обучению безопасным приемам и методам труда, и оказанию первой помощи пострадавшим;
- сбора и анализа информации об отказах новой техники и электрооборудования;
- навыками оформления заявок на оборудование, материалы, запасные части, и др. необходимые для технического обслуживания и ремонта материальные ресурсы, а также проектно-конструкторскую и нормативно-техническую документацию, контроль выполнения заявок;

- навыками подготовки предложений в планы-графики осмотров, ремонта и технического обслуживания кабельных линий электропередачи;
- контролирует подготовку исходных и технических условий для проектирования строительства и реконструкции высоковольтных линий электропередачи;
- контроль подготовки планов-графиков осмотров, ремонта и технического обслуживания кабельных линий и контроль их выполнения;
- навыками контроля подготовки утвержденных дефектных ведомостей, проектов проведения работ и карт организации труда;
- навыками проведения аттестации и подготовки к сертификации рабочих мест на соответствие требованиям охраны труда;
- проверяет корректность расчетов, выполненных с целью обоснования планов и программ деятельности по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередач.

## 2. ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Судовые электроприводы» является базовой дисциплиной направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов», и ее изучение обеспечивает необходимый уровень профессиональной подготовки инженеров-электромехаников специализирующихся в области технической эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики. Целью изучения дисциплины является усвоение основных свойств и сущности физических процессов, протекающих в электроприводах с машинами постоянного и переменного тока; теоретическое и практическое изучение режимов работы и рабочих характеристик электродвигателей и производственных механизмов, а также их взаимозависимость; привитие навыков управления рабочими режимами в системе электропривода; изучение электрических схем судовых электроприводов; анализ нестандартных ситуаций в работе электропривода и способов их устранения; освоение основ расчета и проектирования электроприводов различных судовых устройств, систем и производственных механизмов. Задача изучения дисциплины – обучение студентов самостоятельно решать технические вопросы, возникающие при эксплуатации и техническом обслуживании судового электропривода, на основе полученных теоретических и практических навыков. После освоения теоретического материала и выполнения лабораторных работ *студент должен знать*: законы движения электропривода и основные уравнения, описывающие его работу; электромеханические свойства двигателей постоянного и переменного тока; физические процессы, протекающие в системе электропривода при переходных режимах работы; принципы управления и автоматизации судового электропривода; назначение, состав и режимы работы автоматизированных комплексов судовых электроприводов; типы электроприводов, установленных на судах, их эксплуатацию, обслуживание и ремонт; требования Морского Регистра и других контролирующих организаций к установленному на судах электроприводу; перспективы развития и совершенствования систем управления электроприводом.

*Студент должен уметь*: рассчитать, построить и проанализировать электромеханическую и механическую характеристики электропривода; определить по заданным параметрам оптимальный режим работы электропривода; произвести расчет и выбор электродвигателя для электропривода различных судовых устройств, систем и производственных механизмов; произвести расчет электропривода для любого судового механизма; использовать справочную литературу для выбора электродвигателя и аппаратуры управления электроприводом; читать электрические схемы управления электроприводами и использовать их для обеспечения качественной

эксплуатации судовых систем, устройств и производственных механизмов.

*Студент должен приобрести навыки:* эксплуатации судового электропривода на оптимальных режимах работы; построения и чтения электрических схем; проектирования электропривода для судовых устройств, систем и производственных механизмов; поиска и устранения типичных неисправностей, возникающих в электрических схемах управления электроприводами судовых систем, устройств и производственных механизмов; обеспечения качественной технической эксплуатации судовых автоматизированных комплексов и отдельных электроприводов.

Практикум предназначен для учебных целей. Задания для лабораторных и практических занятий разработаны в соответствии с учебной программой. Лабораторные работы выполняются с помощью электрофицированных стендов и дополнительного лабораторного оборудования. Для решения практических задач используются микрокалькуляторы, персональные компьютеры и справочные таблицы.

### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

#### ***3.1. Цели и задачи лабораторного практикума***

*Целью* лабораторного практикума является:

- ознакомление с устройством, принципом действия и характеристиками электроприводов постоянного и переменного тока;
- закрепление теоретических знаний в области судового электропривода, получение навыков их экспериментального исследования, а также обработки полученных результатов;
- приобретение навыков чтения и сборки электрических схем, включения и испытания электроприводов в различных режимах;
- приобретение навыков суммирования и обобщения полученных результатов экспериментальных исследований, развитие умения формулировать правильные выводы о работе машины и физических процессах, протекающих в ней;
- приобретение навыков решения прикладных задач, практического применения теоретических знаний при эксплуатации судового электропривода.

*Подготовка к лабораторной работе.* Для успешного выполнения той или иной лабораторной работы прежде всего необходимо повторить основные теоретические положения, касающиеся данной работы; уяснить цель работы; определить количество, назначение и порядок проведения опытов; разобраться в электрической схеме, которую нужно собрать на лабораторном стенде, и в принятых условных обозначениях. Необходимо проверить наличие на лабораторном стенде нужного

оборудования, измерительных приборов и источников питания, визуально убедиться в их исправности.

Приступая к сборке экспериментальной схемы, следует учесть замечания и рекомендации преподавателя относительно данной лабораторной работы, убедиться, что выводные клеммы источников питания обесточены, а указатели ЛАТРов установлены в нулевое положение. Сначала собирают участки цепи с последовательным включением ее элементов, а затем – с параллельным. Обычно последними подключаются вольтметры. Подключая измерительные приборы, рекомендуется маркировать их согласно условным обозначениям, принятым в ранее составленной электрической схеме. Не следует использовать в электрических схемах длинные соединительные провода там, где можно обойтись короткими.

К проведению лабораторной работы необходимо заранее подготовить таблицы для записи экспериментальных данных. Такой черновик заготавливается один на бригаду в отдельной тетради, на обложке которой указывают группу и фамилии студентов бригады. В этом же черновике необходимо изобразить принципиальную электрическую схему экспериментальной установки, переписать все приборы и оборудование, относящиеся к данной лабораторной работе, с указанием их основных паспортных данных.

### ***3.2. Порядок выполнения и сдачи лабораторной работы***

После сборки на лабораторном стенде электрической схемы необходимо обязательно пригласить преподавателя для проверки собранной схемы и готовности бригады к выполнению лабораторной работы. Снятые экспериментальные данные сначала заносятся в заранее подготовленные таблицы черновика.

Все записи следует вести аккуратно, четко, с обязательным указанием размерности физических величин. Не допускается записывать данные в делениях измерительного прибора, так как это может привести к ошибке в последующих расчетных и графических работах. Следует помнить, что замеры по всем приборам желательно проводить одновременно и быстро. После окончания одного опыта следует остановить машину, обесточить стенд, подготовить его к проведению следующего опыта и пригласить преподавателя для проверки схемы нового эксперимента.

При выполнении лабораторной работы не следует превышать номинальные значения токов и напряжений испытываемых машин, если это отдельно не оговорено в руководстве к работе. Следует внимательно и бережно относиться к измерительным приборам, пределы их измерений следует устанавливать с некоторым запасом относительно предполагаемых значений экспериментальных данных. Для повышения точности измерений допускается во время проведения опыта менять пределы измерения физической величины, но делать это следует с учетом особенностей измерительного прибора.

Черновик с полностью проведенными расчетами и построенными графиками предъявляется преподавателю для проверки. Если работа выполнена правильно, преподаватель подписывает черновик и дает разрешение оформлять отчет начисто. Если же при проверке черновиков обнаруживаются ошибки или недостаточное количество экспериментальных данных, бригада возвращается к стенду для уточнения и дополнения измерений.

Каждый студент производит обработку результатов и составляет отчет о лабораторной работе самостоятельно. Рекомендуются отчеты обо всех отработанных в семестре (или блоке) лабораторных работах помещать в одной тетради и на ее обложке указывать данные студента, учебную группу и дисциплину.

Отчет о каждой лабораторной работе следует начинать с новой страницы.

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

- наименование и цель работы;
- таблицу с номинальными данными используемых машин, приборов и оборудования;
- электрическую схему экспериментальной установки;
- таблицы с результатами экспериментальных исследований и результатами расчетов;
- алгоритмы расчета поставленных в работе задач с полным числовым решением для одной (обычно номинальной) точки;
- построенные в масштабе графики, векторные диаграммы и т. д.;
- выводы по работе, содержащие критическую оценку опытов и полученных результатов.

В отчет о лабораторной работе не обязательно помещать теоретический материал, касающийся данной работы.

Экспериментальные схемы, графики, диаграммы следует выполнять согласно требованиям ЕСКД аккуратно, с применением линейки, циркуля, лекал. Графики желательно выполнять на миллиметровой бумаге и подклеивать в отчет. Все графики, таблицы и т. д. должны иметь сквозную нумерацию и подрисовочные подписи, на графиках должны быть проставлены размерности физических величин. При построении графиков не следует строго соединять все экспериментальные точки (эта линия не является искомым графиком), так как проведение эксперимента сопровождается целым рядом погрешностей. Линию, обозначающую графическую зависимость одной величины от другой, проводят усредненно, т. е. так, чтобы число точек выше и ниже проведенной линии было приблизительно одинаковым, и расстояние от них до этой кривой также было бы приблизительно одинаковым. Кроме того, следует руководствоваться теоретическими знаниями по этому вопросу. Если на одном поле графика требуется построить несколько кривых, то экспериментально полученные точки для каждой кривой должны быть нанесены различными условными значками (точками, треугольниками,



кружочками и т. д.), либо разными цветами. При этом каждая кривая должна быть подписана.

На последней странице отчета (после выводов) следует поставить дату его оформления. После оформления отчета и подготовки теоретических вопросов по данной лабораторной работе студенты со своей бригадой в установленное преподавателем время защищают лабораторную работу.

### ***3.3. Техника безопасности при выполнении лабораторных работ***

Лабораторные стенды являются действующими электрическими установками и при определенных условиях могут стать источником поражения током. Поэтому всегда следует помнить и соблюдать необходимые меры предосторожности и правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ.

Перед началом работы в лаборатории студенты должны пройти инструктаж и усвоить основные правила по технике безопасности и противопожарной безопасности, а также правила поведения в лаборатории электрических машин при отработке лабораторных работ. После прохождения инструктажа студенты расписываются в специальном журнале о том, что они обязуются соблюдать правила техники безопасности и правила поведения в лаборатории при выполнении лабораторных работ.

Студенты, не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

При сборке электрической схемы и работе с ней необходимо соблюдать следующие основные правила:

- сборку и соединения в схеме выполнять при отключенном рубильнике сети;
- при сборке электрической схемы необходимо избегать пересечения проводов, обеспечить прочное закрепление контактов; неиспользованные провода следует убрать с монтажных панелей в отведенное для них место;
- используемые в схеме приборы и аппаратура должны соответствовать роду тока и пределам измерения контролируемых величин;
- любое подключение электрической схемы в сеть допустимо только после ее проверки преподавателем;
- обнаружив любую неисправность в схеме, находящейся под напряжением, нужно немедленно отключить ее от сети и сообщить преподавателю;
- при выполнении работ нельзя прикасаться к токоведущим частям схемы и к корпусам машин; необходимо остерегаться соприкосновения с вращающимися частями электрических машин; все управления в цепях электрической схемы следует выполнять одной рукой;
- прежде чем разбирать цепи или производить любые соединения, нужно убедиться, что источники питания отключены;

- прежде чем производить какие-либо действия с экспериментальной установкой, необходимо убедиться не только в личной безопасности, но и в безопасности ваших товарищей по бригаде;
- нельзя оставлять без наблюдения включенную установку, допускать к работе на ней студентов из других бригад;
- не разрешается допускать к работе посторонних лиц, а также позволять находиться им в лаборатории во время проведения лабораторных работ;
- при несчастном случае следует немедленно отключить питание схемы и оказать первую помощь пострадавшему;
- после окончания работы схему необходимо разобрать, провода, приборы, оборудование должны быть приведены в порядок и размещены на своих местах.

Студенты, нарушившие правила техники безопасности и поведения в лаборатории, отстраняются от выполнения лабораторной работы. В случае порчи оборудования из-за несоблюдения установленных правил виновные несут материальную ответственность.

### *Лабораторная работа № 1*

## **Определение координат электропривода системы «Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором – электрическая сеть промышленной частоты» в генераторном, двигательном и тормозном режимах**

### ***Цель работы***

На основании экспериментальных данных рассчитать и определить координаты электропривода системы «Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором – электрическая сеть промышленной частоты» в генераторном, двигательном и тормозном режимах.

### ***Ход работы***

1. Изучить состав аппаратуры, входящей в схему, согласно табл. 11.1.
2. Собрать электрическую схему соединений по рис. 11.1.
3. Выполнить эксперимент, руководствуясь указаниями по его проведению.
4. Ответить на контрольные вопросы.

*Таблица 11.1*

**Перечень аппаратуры**

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>G1</i>	Трехфазный источник питания	201.4	~ 400 В / 6 А
<i>G2</i>	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	– 0...250 В / 3 А (якорь) / – 200 В / 1 А (возбуждение)
<i>G5</i>	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2 500 импульсов за оборот

<i>G7</i>	Однофазный источник питания	218	~ 220 В / 6 А
<i>M1</i>	Машина переменного тока	102. 1	100 Вт / ~ 230 В / 1 500 мин <sup>-1</sup>
<i>M2</i>	Машина постоянного тока	101. 2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2 × 110 В / 0,25 А (возбуждение)
<i>A2</i>	Трехфазная трансформаторная группа	347. 3	3 × 80 В·А (звезда); 220, 225, 230 В / 133, 220, 225, 230, 235, 240, 245 В
<i>A4</i>	Активная нагрузка	306. 1	220 В / 3 × 0...50 Вт
<i>A6</i>	Трехполюсный выключатель	301. 1	~ 400 В / 10 А
<i>P1</i>	Блок мультиметров	508. 2	3 мультиметра $\leq 0...1\ 000\ В /$ $\leq 0...10\ А / 0...20\ МОм$
<i>P2</i>	Измеритель мощностей	507. 3	15, 60, 150, 300, 600 В / 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 А
<i>P3</i>	Указатель частоты вращения	506. 3	-2 000...0...2 000 мин <sup>-1</sup>

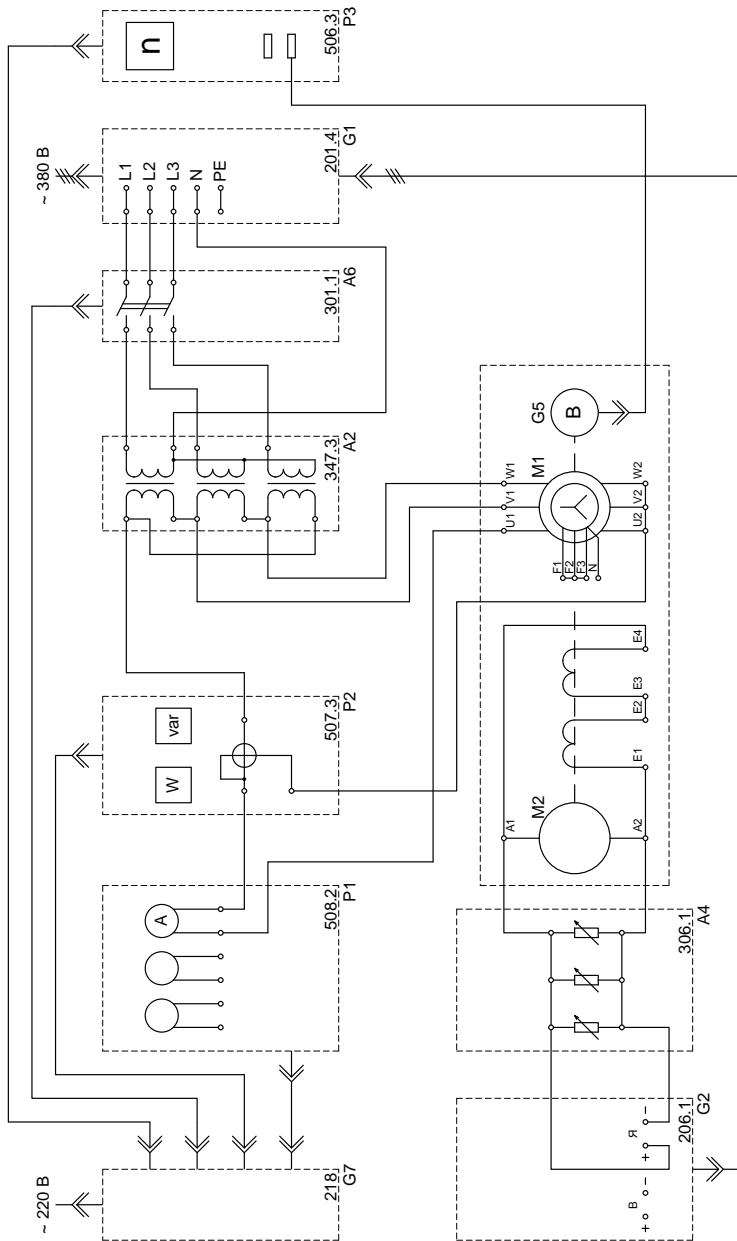


Рис. 1.1.1. Электрическая схема соединений

### **Указания по проведению эксперимента**

1. Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления « $\oplus$ » устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «**РЕ**» трехфазного источника *G1*.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений.
4. В трехфазной трансформаторной группе *A2* установите номинальные напряжения первичных и вторичных обмоток трансформаторов, равными, например, 230 и 133 В.
5. Тумблеры режима работы источника *G2* и выключателя *A6* переведите в положение «**РУЧН.**».
6. Регулировочную рукоятку источника *G2* поверните против часовой стрелки до упора.
7. Регулировочные рукоятки активной нагрузки *A4* установите, например, в положение 20%.
8. Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели однофазного источника питания *G7*.
9. Включите выключатели «**СЕТЬ**» блока мультиметров *P1*, указателя частоты вращения *P2* и измерителя *P3*.
10. Активизируйте мультиметры блока *P1*, задействованные в эксперименте.
11. Включите трехфазный источник питания *G1*.
12. Включите трехполюсный выключатель *A6*. При этом двигатель *M1* должен запуститься, а стрелка указателя *P2* – отклониться вправо.
13. Включите выключатель «**СЕТЬ**» и нажмите кнопку «**ВКЛ.**» источника *G2*.
14. Вращая регулировочную рукоятку источника *G2*, нагрузите двигатель *M1*.
15. Для перевода электропривода в тормозной режим вращайте регулировочную рукоятку источника *G2* по часовой стрелке, пока двигатель *M1* не начнет вращаться в противоположную сторону.
16. Для перевода электропривода в генераторный режим отключите источник *G2*. Отключите выключатель *A6*. Поменяйте соединение обмоток якоря и возбуждение машины постоянного тока *M2* на противоположное. Включите выключатель источник *G2* и, вращая его рукоятку, разгоните двигатель *M1* до скорости 1 500 об./мин. Включите выключатель *A6*. Вращая рукоятку источника *G2*, обеспечьте скорость вращения двигателя *M1* свыше 1 500 об./мин.
17. Измеряйте координаты электропривода с помощью амперметра блока мультиметров *P1* – ток *I* статора, с помощью указателя *P3* – частоту вращения *n*, с помощью измерителя *P2* – активную *P* и реактивную *Q* мощности асинхронного двигателя *M1*.
18. По завершении эксперимента отключите выключатель *A6*. Отключите трехфазный источник *G1*. Отключите выключатель «**СЕТЬ**» блока

мультиметров  $P1$ , указателя частоты вращения  $P3$  и измерителя  $P2$ . Отключите автоматические выключатели однофазного источника питания  $G7$ .

19. Определяйте координаты электропривода: соответственно электромагнитный момент  $M$  и угловую скорость  $\omega$  вращения асинхронного двигателя  $M1$  по формулам:

$$M = 3 / 50\pi(P - 80I^2), \quad (1)$$

$$\omega = 2\pi n / 60. \quad (2)$$

### ***Контрольные вопросы к защите***

1. Назовите и поясните способы электрического торможения асинхронных двигателей.

2. Что называется несимметричным режимом работы асинхронных двигателей?

3. Назовите способы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей.

4. Перечислите способы регулирования координат электропривода. Дайте краткое описание способов.

## Лабораторная работа № 2

### Определение координат электропривода системы «Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором – преобразователь частоты» в генераторном, двигательном и тормозном режимах

#### Цель работы

На основании экспериментальных данных рассчитать и определить координаты электропривода системы «Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором – преобразователь частоты» в генераторном, двигательном и тормозном режимах.

#### Ход работы

1. Изучить состав аппаратуры, входящей в схему, согласно табл. 12.1.
2. Собрать электрическую схему соединений по рис. 12.1.
3. Выполнить эксперимент, руководствуясь указаниями по его проведению.
4. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 12.1

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<u>G1</u>	<u>Трехфазный источник питания</u>	<u>201.4</u>	<u>~ 400 В / 6 А</u>
<u>G2</u>	Источник питания двигателя постоянного тока	<u>206.1</u>	– 0...250 В / 3 А (якорь) / – 200 В / 1 А (возбуждение)
<u>G5</u>	<u>Преобразователь угловых перемещений</u>	<u>104</u>	<u>6 вых. каналов / 2 500 импульсов за оборот</u>
<u>G7</u>	<u>Однофазный источник питания</u>	<u>218</u>	<u>~ 220 В / 6 А</u>
<u>G9</u>	Преобразователь частоты	217.1	0...100 Гц; 3 × 220 В; 3 А
<u>M1</u>	<u>Машина переменного тока</u>	<u>102.1</u>	100 Вт / ~ 230 В / 1 500 мин <sup>-1</sup>
<u>M2</u>	<u>Машина постоянного тока</u>	<u>101.2</u>	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2 × 110 В / 0,25 А (возбуждение)
<u>A4</u>	Активная нагрузка	306.1	220 В / 3 × 0...50 Вт
<u>P2</u>	<u>Измеритель мощностей</u>	<u>507.3</u>	<u>15, 60, 150, 300, 600 В / 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 А</u>
<u>P3</u>	<u>Указатель частоты вращения</u>	<u>506.3</u>	<u>–2 000...0...2 000 мин<sup>-1</sup></u>
<u>P5</u>	Амперметр	513.1	~ 0...1 А

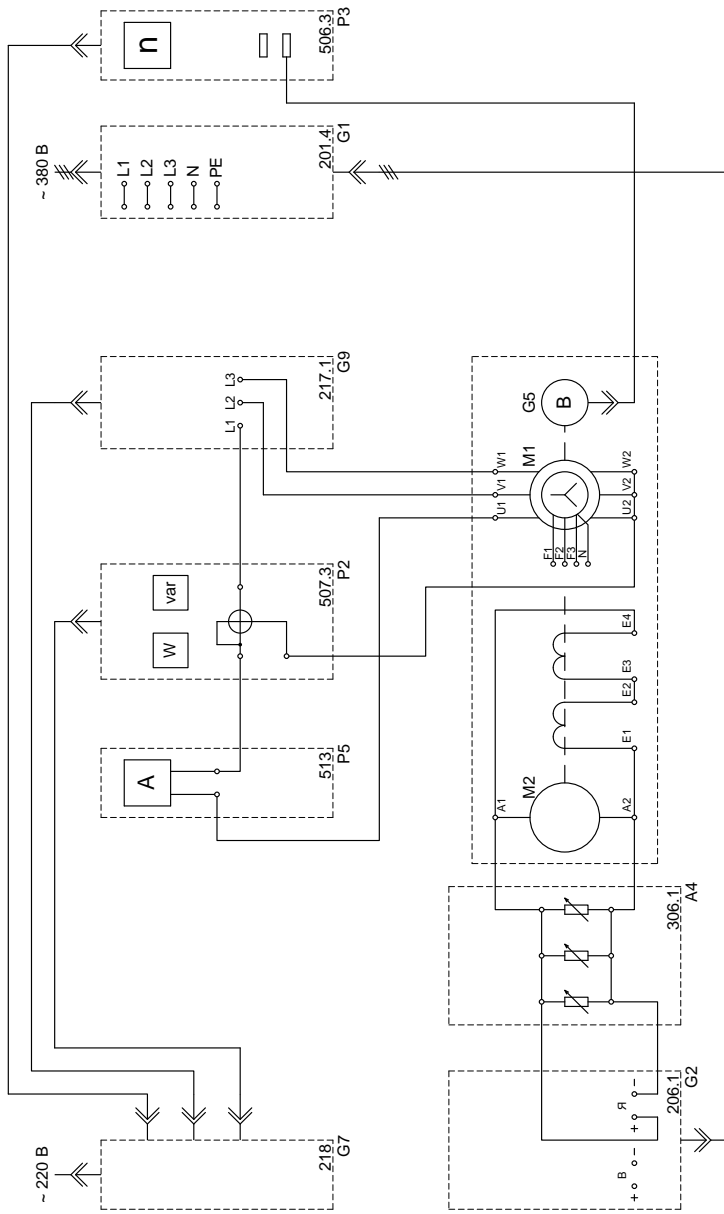


Рис. 12.1. Электрическая схема соединений

### **Указания по проведению эксперимента**

1. Убедитесь, что устройства, используемые в экспериментах, отключены от сети электропитания.
2. Соедините гнезда защитного заземления « $\oplus$ » устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «**РЕ**» трехфазного источника питания *G1*.
3. Соедините аппаратуру в соответствии со схемой электрических соединений.
4. Регулировочную рукоятку источника *G2* поверните против часовой стрелки до упора.
5. Регулировочные рукоятки активной нагрузки *A4* установите, например, в положение 20%.
6. Включите устройство защитного отключения и автоматические выключатели однофазного источника питания *G7*.
7. Включите выключатели «**СЕТЬ**» указателя частоты вращения *P3* и измерителя *P2*.
8. Включите выключатель «**СЕТЬ**» преобразователя частоты *G9*. Кнопками «**ВЫБОР СТРОКИ/СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ**» выберите режим работы «*Эксперимент №1: Исследование режимов работы асинхронного двигателя*».
9. Кнопкой «**ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ**» выберите «*Массив изменяемых параметров*», далее кнопками «**ВЫБОР СТРОКИ/СТРАНИЦЫ НА ДИСПЛЕЕ**» и «**ИЗМЕНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРА**» выберите, например, следующие значения параметров: *U* номинальное – 220 В, тип характеристики – линейная, выход 1 – скорость, выход 2 – скорость, управление – ручное.
10. Кнопкой «**ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ**» выберите «*Массив контролируемых параметров*».
11. Вращая регулировочную рукоятку преобразователя частоты *G9*, установите задание скорости вращения магнитного поля двигателя *M1*, например, 83 рад/с (соответствует 800 об./мин) и нажмите кнопку «**ВПЕРЕД**».
12. Включите выключатель «**СЕТЬ**» и нажмите кнопку «**ВКЛ.**» источника *G2*.
13. Вращая регулировочную рукоятку источника *G2*, нагрузите двигатель *M1*.
14. Для перевода электропривода в тормозной режим вращайте регулировочную рукоятку источника *G2* по часовой стрелке, пока двигатель *M1* не начнет вращаться в противоположную сторону.
15. Для перевода электропривода в генераторный режим вращением регулировочной рукоятки преобразователя частоты *G9* добейтесь снижения скорости вращения двигателя *M1* до нуля, нажмите кнопку «**НАЗАД**» и добейтесь его вращения с отрицательной скоростью.
16. Измеряйте координаты электропривода: с помощью амперметра *P5* – ток *I* статора, с помощью указателя *P3* – скорость вращения *n*, с помощью измерителя *P2* – активную *P* и реактивную *Q* мощности асинхронного двигателя *M1*.



17. По завершении эксперимента нажмите кнопку «СТОП» и отключите выключатель «СЕТЬ» преобразователя частоты  $G9$ , у источника  $G2$  поверните регулировочную рукоятку против часовой стрелки до упора и отключите выключатель «СЕТЬ». Отключите выключатели «СЕТЬ» указателя частоты вращения  $P3$  и измерителя  $P2$ . Отключите автоматические выключатели однофазного источника питания  $G7$ .

18. Определяйте координаты электропривода: соответственно электромагнитный момент  $M$  и угловую скорость  $\omega$  вращения асинхронного двигателя  $M1$  по формулам:

$$M = \frac{3}{50\pi}(P - 80I^2), \quad (1)$$

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

### **Контрольные вопросы к защите**

1. Объясните физическую сущность образования тормозного момента в режиме динамического торможения асинхронного двигателя.
2. Условие перехода асинхронного двигателя в рекуперативный режим и в режим противовключения.
3. Приведите классификацию преобразователей частоты.

### *Лабораторная работа № 3*

## **Определение координат электропривода системы «Трёхфазный синхронный двигатель – электрическая сеть промышленной частоты» в генераторном и двигательном режимах**

### **Цель работы**

На основании экспериментальных данных рассчитать и определить координаты электропривода системы «Трёхфазный синхронный двигатель – электрическая сеть промышленной частоты» в генераторном и двигательном режимах.



### **Ход работы**

1. Изучить состав аппаратуры, входящей в схему, согласно табл. 16.1.
2. Собрать электрическую схему соединений по рис. 16.1.
3. Выполнить эксперимент, руководствуясь указаниями по его проведению.
4. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 16.1

**Перечень аппаратуры**

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
$G1$	Трёхфазный источник питания	201. 4	~ 400 В / 6 А
$G2$	Источник питания двигателя постоянного тока	206. 1	- 0...250 В / 3 А (якорь) / - 200 В / 1 А (возбуждение)
$G3$	Возбудитель синхронной машины	209. 2	- 0...40 В / 3,5 А
$G4$	Машина постоянного тока	101. 2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2 × 110 В / 0,25 А (возбуждение)
$G5$	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2 500 импульсов за оборот

M1	Машина переменного тока	102. 1	100 Вт / ~ 230 В / 1 500 мин <sup>-1</sup>
A2	Трехфазная трансформаторная группа	347. 3	3 × 80 В·А (звезда) / 220, 225, 230 В / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В
A6, A8	Трехполюсный выключатель	301. 1	~ 400 В / 10 А
A9	Реостат для цепи ротора машины переменного тока	307. 2	3 × 0...40 Ом / 1 А
A10	Активная нагрузка	306. 1	220 В / 3 × 0...50 Вт
A14	Линейный реактор	314. 2	3 × 0,3 Гн / 0,5 А
P1	Блок мультиметров	508. 2	3 мультиметра  0...1 000 В /  0...10 А / 0...20 МОм
P2	Измеритель мощностей	507. 3	15, 60, 150, 300, 600 В / 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 А
P3	Указатель частоты вращения	506. 3	-2 000...0...2 000 мин <sup>-1</sup>
=	Однофазный источник питания	218	~ 220 В / 6 А

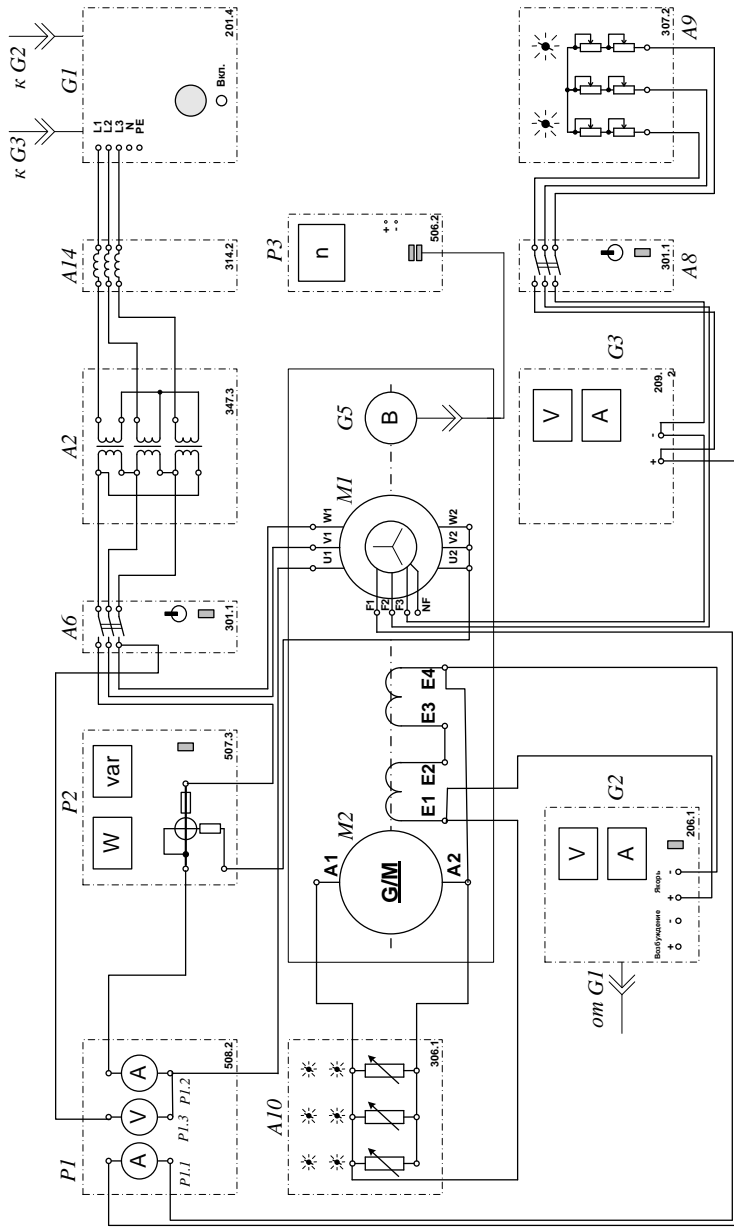


Рис. 16.1. Электрическая схема соединений

### **Указания по проведению эксперимента**

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.
3. Произведите пуск синхронного двигателя согласно указаниям лабораторной работы № 13.
4. Установите переключателем в трехфазной трансформаторной группе  $A2$  номинальные вторичные напряжения трансформаторов – 133 В.
5. Регулировочную рукоятку источника  $G2$  поверните против часовой стрелки до упора.
6. Регулировочные рукоятки нагрузки  $A10$  установите, например, в положение 20%.
7. Активизируйте мультиметры блока  $P1$ , задействованные в эксперименте.
8. Включите выключатель «*СЕТЬ*» и нажмите кнопку «**ВКЛ.**» источника  $G2$ .
9. Вращая регулировочную рукоятку источника  $G2$ , установите полную активную мощность, потребляемую двигателем  $M1$  из сети, например, 60 Вт (определяется утроением показаний ваттметра измерителя  $P2$ ) и поддерживайте ее в ходе эксперимента неизменной.
10. Для перевода двигателя  $M1$  в генераторный режим вращайте регулировочную рукоятку источника  $G2$  по часовой стрелке, пока не изменится направление активной мощности двигателя  $M1$  (контролируется по стрелке ваттметра измерителя  $P2$ ).
11. В случае перехода двигателя  $M1$  в асинхронный режим работы разгружайте его по активной мощности, вращая регулировочную рукоятку источника  $G2$  против часовой стрелки до тех пор, пока не восстановится синхронная работа двигателя  $M1$  с сетью.
12. С помощью блока мультиметров  $P1$  измеряйте координаты электропривода – ток возбуждения  $I_f$ , напряжение  $U$  и ток  $I$  синхронного двигателя  $M1$ ; с помощью указателя  $P3$  – частоту вращения  $n$  синхронного двигателя  $M1$ ; с помощью измерителя  $P2$  – активную  $P$  и реактивную  $Q$  мощности синхронного двигателя  $M1$ .
13. Электромагнитный момент синхронного двигателя  $M1$  вычисляйте по формуле

$$M = \frac{3}{50\pi}(P - 21 \cdot I^2), \text{ Н} \cdot \text{ м.} \quad (1)$$

14. По завершении эксперимента нажмите кнопку «**ОТКЛ.**» источника  $G1$  и отключите выключатели «*СЕТЬ*» блоков, задействованных в эксперименте.

### **Контрольные вопросы к защите**

1. В чем особенности динамического торможения синхронного электродвигателя?

2. Объясните физическую сущность образования тормозного момента в режиме динамического торможения синхронного двигателя.
3. От каких критериев зависит интенсивность торможения?
4. Почему не применяется торможение синхронных двигателей противовключением?

#### *Лабораторная работа № 4*

### **Электропривод системы «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока независимого возбуждения с регулированием по скорости»**

#### ***Цель работы***

На основании экспериментальных данных произвести расчет электропривода системы «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока независимого возбуждения с регулированием по скорости».

#### ***Ход работы***

1. Изучить состав аппаратуры, входящей в схему, согласно табл. 17.1.
2. Собрать электрическую схему соединений по рис. 17.1.
3. Выполнить эксперимент, руководствуясь указаниями по его проведению.
4. Изучить описание к схеме электрических соединений.
5. Ответить на контрольные вопросы.

*Таблица 17.1*

**Перечень аппаратуры**

<u>Обозначение</u>	<u>Наименование</u>	<u>Тип</u>	<u>Параметры</u>
<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
<u>G1</u>	<u>Трехфазный источник питания</u>	<u>201.4</u>	<u>~ 400 В / 6 А</u>
<u>G2</u>	<u>Однофазный источник питания</u>	<u>218</u>	<u>~ 220 В / 6 А</u>
<u>A1</u>	<u>Тиристорный преобразователь-регулятор</u>	<u>207.2</u>	<u>3 × 400 В ~ / 2 А / 6 тиристоров</u>
<u>A2</u>	<u>Выпрямитель</u>	<u>322.1</u>	<u>~ 400 В / 2 А</u>
<u>A3</u>	<u>Терминал</u>	<u>304</u>	<u>6 розеток с 8 контактами; 6 × 8 гнезд</u>
<u>A4</u>	<u>Электромашинный агрегат</u>	<u>100.2</u>	<u>Машина постоянного тока: 90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2 × 110 В / 0,25 А (возбуждение). Машина переменного тока: 100 Вт / ~ 230 В / 1 500 мин<sup>-1</sup>. Преобразователь угловых перемещений: 6 вых. каналов / 2 500 импульсов за оборот</u>

<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
<u>A5</u>	<u>Возбудитель синхронной машины</u>	<u>209.2</u>	<u>- 0...40 В / 3.5 А</u>
<u>A6</u>	<u>Активная нагрузка</u>	<u>306.1</u>	<u>220 В / 3 × 0...50 Вт</u>
<u>A7</u>	<u>Блок регуляторов</u>	<u>2352</u>	<u>П и ПИ регуляторы / задатчик интенсивности / генератор ИМПУЛЬСОВ</u>
<u>A8</u>	<u>Указатель частоты вращения</u>	<u>506.3</u>	<u>-2 000...0...2 000 мин<sup>-1</sup></u>
<u>TV1</u>	<u>Трехфазная трансформаторная группа</u>	<u>347.3</u>	<u>3 × 80 В·А (звезда) / 220, 225, 230 В / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В</u>
<u>=</u>	<u>USB-осциллограф</u>	<u>1419.1</u>	<u>2 входа</u>

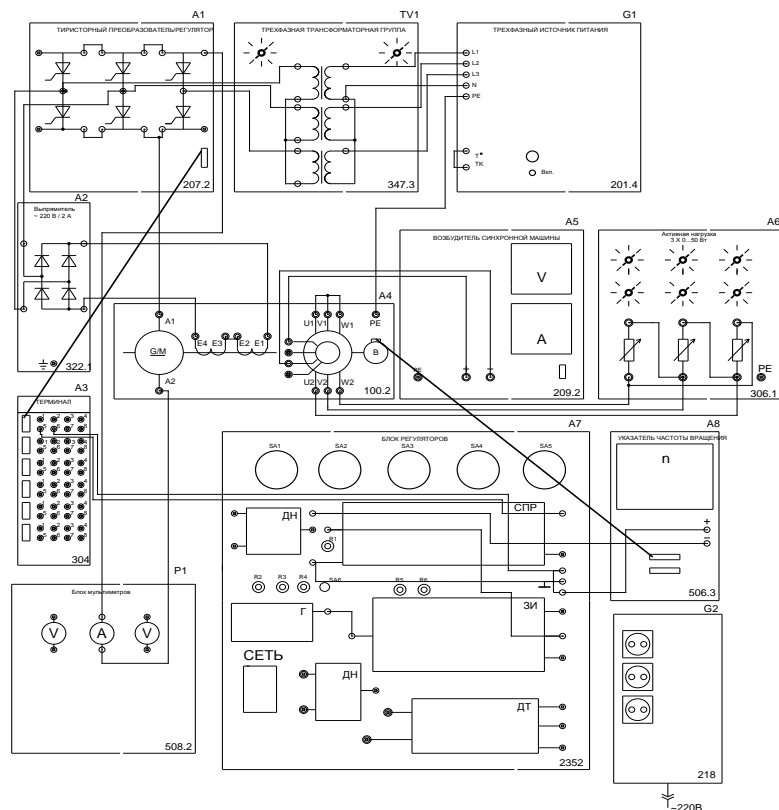


Рис. 17.1. Электрическая схема соединений

### **Указания по проведению эксперимента**

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

2. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

3. Подключите питающие кабели между источниками  $G1$ ,  $G2$  и внешней сетью.

4. Подключите питающие кабели между блоком  $G1$  и блоками  $A1$ ,  $A5$ ,  $A7$ ,  $A8$ ,  $P1$ .

5. Переключатель режима работы возбудителя  $A5$  установите в положение «РУЧН.».

6. Регулировочную рукоятку  $U_{упр. ручн}$  возбудителя  $A5$  поверните против часовой стрелки до упора.

7. Установите все регулировочные рукоятки активной нагрузки  $A6$  в крайнее по часовой стрелке положение.

8. Включите автоматические выключатели и устройства защитного отключения источников  $G1$ ,  $G2$ .

9. Включите выключатели «СЕТЬ» блоков  $A1$ ,  $A5$ ,  $A7$ ,  $A8$ ,  $P1$ . Включите центральный мультиметр, нажав кнопку на его блоке.

10. Установите предел тока мультиметра равным 2 А.

11. Установите переключатели и резисторы блока регуляторов  $A7$  в начальные положения:

- переключатель  $SA4$  – в положение 1;
- переключатель  $SA5$  – в положение 0R;
- переключатель  $SA2$  – в положение 0,5;
- переключатель  $SA3$  – в положение 1 (или в положения, полученные в результате предварительных расчетов);
- резистор  $R1$  – в максимальное положение (до упора по часовой стрелке).
- резистор  $R2$  – в среднее положение;
- резисторы  $R3$  –  $R6$  – в минимальное положение (до упора против часовой стрелки).
- тумблер  $SA6$  – в положение непрерывного сигнала «-».

12. Подключите осциллограф к компьютеру и запустите программу осциллографа **PicoScope 6**. Установите шкалу равной 5 В и развертку – 500 мс/дел. Подключите кабель ПД.004

к осциллографу, сигнальный провод шнура – к общему проводу **БЛР**, общий провод шнура – к входу **U<sub>ос</sub>** (сигнал, пропорциональный скорости вращения электромашинного агрегата).

13. Установите режим работы тиристорного преобразователя  $A1$ : «Импульсы широкие»; «Упр-е авт.».

14. Включите режим трехфазного выпрямителя ТП, нажав длительно кнопку «**3Ф-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ**». При правильно установленных параметрах на индикаторе должен быть угол 170 градусов.

15. Подайте напряжение на выход источника  $G1$ , нажав кнопку «**ВКЛ.**». Двигатель не должен вращаться.

16. Нажмите кнопку «ВКЛ.» возбуждателя А5.
17. Плавно вращая резистор  $R4$  *БЛР*, изменяйте скорость двигателя от 0 до максимальной, на которой будет работать привод. По показаниям приборов и осциллографа следите за устойчивостью системы. Если она неустойчива, скорректируйте коэффициенты пропорционального и интегрального каналов.
18. Резистором  $R4$  установите желаемую скорость двигателя (например, 1 200 об./мин) и, вращая регулировочную рукоятку возбуждателя А5, нагрузите двигатель до заданного тока якоря (например, 0,5 А).
19. Резистором  $R4$  установите скорость, равную заданной скорости «паузы» (например, 300 об./мин).
20. Переключите переключатель SA6 в импульсный режим работы.
21. Дождитесь, когда загорится светодиод возле резистора  $R3$  и, плавно вращая резистор, установите скорость, равную заданной скорости «импульса» (например, 1 200 об./мин).
22. Резистор  $R3$  определяет напряжение задания только тогда, когда возле него горит светодиод.
23. Измените резистор  $R2$  так, чтобы в период укладывался весь переходный процесс до установившегося режима работы электропривода.
24. Изменяя пропорциональный коэффициент переключателем SA2, интегральный коэффициент – переключателем SA3, время нарастания импульса задания – резистором  $R6$  и время спада задания – резистором  $R5$ , добейтесь оптимального переходного процесса под заданные требования.
25. Сравните полученный результат с результатом при управлении импульсным сигналом. Для этого уберите провод  $U_{\text{вых.зи.}} - U_{\text{вх}}$  и подключите провод  $U_2 - U_{\text{вх}}$ .
26. Запишите переходные процессы на осциллограф и распечатайте полученные результаты.
27. Изменяйте величины пропорционального и интегрального коэффициентов времени нарастания и спада в сторону уменьшения и увеличения. Наблюдая по осциллографу переходные процессы, убедитесь, что их качество ухудшается по сравнению с оптимальной настройкой. Распечатайте полученные результаты для сравнения.
28. Изменяя величину нагрузки (регулируя величину напряжения на выходе возбуждателя), убедитесь, что при полученных параметрах система остается устойчивой и в этих точках.
29. Выключите стенд:
  - 1) снимите напряжение с выхода источника  $G1$ , нажав красную кнопку на передней панели;
  - 2) отключите блоки  $A1$ ,  $A5$ ,  $A8$ ,  $P1$  выключателями «СЕТЬ» в любой последовательности;
  - 3) отключите автоматические выключатели источников  $G1$ ,  $G2$ .

### **Описание электрической схемы соединений**

Источник  $G1$  – трехфазный источник синусоидального напряжения промышленной частоты, предназначен для питания тиристорного



преобразователя и выпрямителя и обеспечения их защиты от коротких замыканий и сверхтоков.

Источник  $G2$  – источник синусоидального напряжения промышленной частоты, предназначен для питания активных блоков стенда и обеспечения их защиты от коротких замыканий и сверхтоков.

Блок регуляторов (БЛР)  $A7$  предназначен для обеспечения обратной связи по скорости двигателя и формирования–сигналов задания. Блок указателя частоты вращения (УЧВ)  $A8$  формирует сигнал, пропорциональный скорости двигателя, из импульсного сигнала, поступающего с энкодера, расположенного на валу электромашинного агрегата. Тиристорный преобразователь (ТП)  $A1$  работает в режиме трехфазного управляемого выпрямителя. ТП питает якорную обмотку двигателя постоянного тока электромашинного агрегата  $A4$ . Выпрямитель  $A2$  питает обмотку возбуждения двигателя постоянного тока. Трехфазная трансформаторная группа  $TV1$  формирует требуемый уровень напряжения на входе ТП

и обеспечивает потенциальную развязку от сетевого напряжения. Терминал  $A3$  позволяет ввести управляющий сигнал

в блок ТП. Блок (УЧВ)  $A8$  получает сигнал, пропорциональный скорости, с энкодера, расположенного на валу электромашинного агрегата и формирует сигнал обратной связи по скорости для БЛР  $A7$ .

Возбудитель синхронной машины  $A5$  питает роторную обмотку универсальной машины переменного тока электромашинного агрегата  $A4$ , а активная нагрузка нагружает статорную обмотку этого агрегата. Изменением величины активной нагрузки можно подобрать требуемую нагрузку двигателя постоянного тока.

Мультиметр из блока мультиметров  $PI$  используется для измерения тока якоря двигателя постоянного тока.

Для наблюдения за переходными процессами сигналов в схеме используется USB-осциллограф.

### ***Контрольные вопросы к защите***

1. В чем состоит принцип действия тиристорных преобразователей?
2. Расскажите о составе тиристорного электропривода и назначении его элементов.
3. Перечислите достоинства работы системы электропривода с тиристорным преобразователем.
4. Перечислите недостатки работы системы электропривода с тиристорным преобразователем.

## Лабораторная работа № 5

### Электропривод системы «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока независимого возбуждения с подчиненным регулированием по скорости»

#### Цель работы

На основании экспериментальных данных произвести расчет электропривода системы «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока независимого возбуждения с подчиненным регулированием по скорости».

#### Ход работы

1. Изучить состав аппаратуры, входящей в схему, согласно табл. 18.1.
2. Собрать электрическую схему соединений по рис. 18.1.
3. Выполнить эксперимент, руководствуясь указаниями по его проведению.
4. Изучить описание к схеме электрических соединений.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 18.1

Перечень аппаратуры

<u>Обозначение</u>	<u>Наименование</u>	<u>Тип</u>	<u>Параметры</u>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<u>G1</u>	<u>Трехфазный источник питания</u>	<u>201.4</u>	<u>~ 400 В / 6 А</u>
<u>G2</u>	<u>Однофазный источник питания</u>	<u>218</u>	<u>~ 220 В / 6 А</u>
<u>A1</u>	<u>Тиристорный преобразователь-регулятор</u>	<u>207.2</u>	<u>3 × 400 В ~ / 2 А / 6 тиристоров</u>
<u>A2</u>	<u>Выпрямитель</u>	<u>322.1</u>	<u>~ 400 В / 2 А</u>
<u>A3</u>	<u>Терминал</u>	<u>304</u>	<u>6 розеток с 8 контактами; 6 × 8 гнезд</u>
<u>A4</u>	<u>Электромашинный агрегат</u>	<u>100.2</u>	<u>Машина постоянного тока: 90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2 × 110 В / 0,25 А (возбуждение). Машина переменного тока: 100 Вт / ~ 230 В / 1 500 мин<sup>-1</sup>. Преобразователь угловых перемещений: 6 вых. каналов / 2 500 импульсов за оборот</u>

<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
<u>A5</u>	<u>Возбудитель синхронной машины</u>	<u>209.2</u>	<u>- 0...40 В / 3,5 А</u>
<u>A6</u>	<u>Активная нагрузка</u>	<u>306.1</u>	<u>220 В / 3 × 0...50 Вт</u>
<u>A7</u>	<u>Блок регуляторов</u>	<u>2352</u>	<u>П и ПИ регуляторы / задатчик интенсивности / генератор ИМПУЛЬСОВ</u>
<u>A8</u>	<u>Указатель частоты вращения</u>	<u>506.3</u>	<u>-2 000...0...2 000 мин<sup>-1</sup></u>
<u>TV1</u>	<u>Трехфазная трансформаторная группа</u>	<u>347.3</u>	<u>3 × 80 В·А (звезда) / 220, 225, 230 В / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В</u>
<u>=</u>	<u>USB-осциллограф</u>	<u>1419.</u> <u>1</u>	<u>2 входа</u>

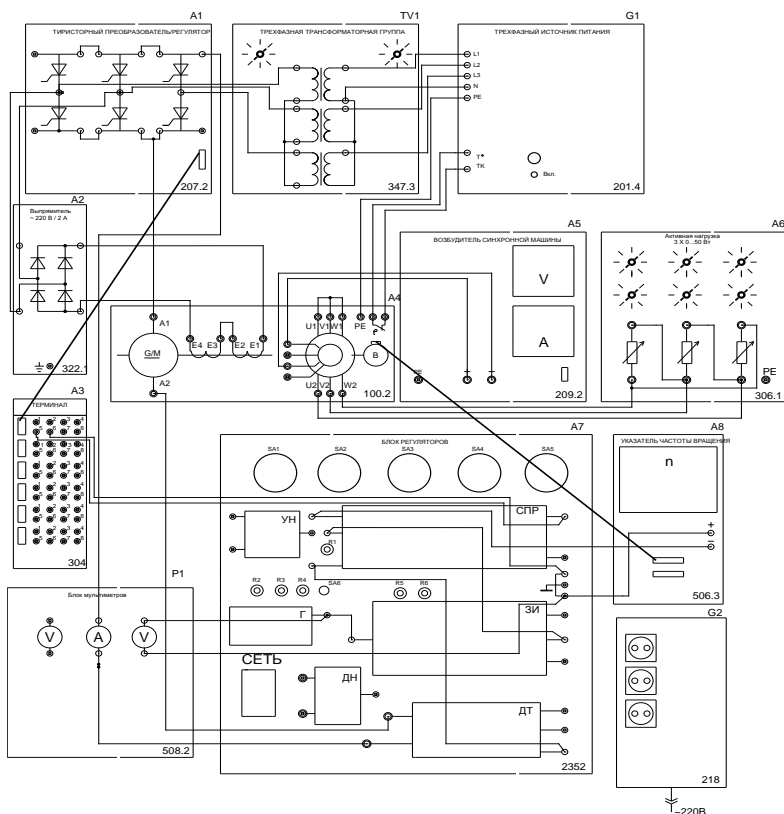


Рис. 18.1. Электрическая схема соединений

### **Указания по проведению эксперимента**

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

2. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

3. Подключите питающие кабели между источниками  $G1$ ,  $G2$  и внешней сетью.

4. Подключите питающие кабели между блоком  $G1$  и блоками  $A1$ ,  $A5$ ,  $A7$ ,  $A8$ ,  $P1$ .

5. Переключатель режима работы возбудителя  $A5$  установите в положение «РУЧН.».

6. Регулировочную рукоятку  $U_{упр. ручн}$  возбудителя  $A5$  поверните против часовой стрелки до упора.

7. Установите все регулировочные рукоятки активной нагрузки  $A6$  в крайнее по часовой стрелке положение.

8. Включите автоматические выключатели и устройства защитного отключения источников  $G1$ ,  $G2$ .

9. Включите выключатели «СЕТЬ» блоков  $A1$ ,  $A5$ ,  $A7$ ,  $A8$ ,  $P1$ . Включите средний и правый мультиметры, нажав кнопки на самих мультиметрах.

10. Установите предел тока среднего мультиметра равным 2 А.

11. Установите предел напряжения правого мультиметра равным 20 В.

12. Установите переключатели и резисторы БЛР  $A7$  в начальные положения для настройки контура регулирования по току:

- переключатель  $SA2$  – в положение 1;
- переключатель  $SA3$  – в положение 0R;
- переключатель  $SA4$  – в положение 0,5;
- переключатель  $SA5$  – в положение 1 (или в положения, полученные в результате предварительных расчетов);
- резистор  $R1$  – в максимальное положение (до упора по часовой стрелке);
- резистор  $R2$  – в среднее положение;
- резисторы  $R3$  –  $R6$  – в минимальное положение (до упора против часовой стрелки);
- тумблер  $SA6$  – в положение непрерывного сигнала.

Обратную связь по скорости разомкните.

13. Подключите осциллограф к компьютеру и запустите программу осциллографа **PicoScope6**. Установите предел равным 5 В, и развертку – 500 мс/дел. Подключите кабель ПД004 к осциллографу, сигнальный провод шнура – к общему проводу БЛР, общий провод шнура – к входу  $U_{ос}$  (сигнал, пропорциональный скорости вращения электромашинного агрегата).

14. Установите режим работы тиристорного преобразователя  $A1$ : «Импульсы широкие»; «Упр-е авт.».

15. Включите режим трехфазного выпрямителя, нажав длительно кнопку «3Ф-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ». При правильно установленных параметрах на индикаторе должен быть угол 170 градусов.

16. Включите источник  $G1$ , нажав кнопку «ВКЛ.».

17. Подайте напряжение на выход возбуждателя  $A5$ , нажав кнопку «ВКЛ.».
18. Регулировочной рукояткой  $U_{\text{упр. ручн}}$  возбуждателя  $A5$  задайте его выходной ток равным  $2 \text{ А}$ .
19. Плавно вращая резистор  $R4$  БЛР, установите величину сигнала задания равным  $1 \text{ В}$  по мультиметру  $PI$ .
20. Регулировочной рукояткой  $U_{\text{упр. ручн}}$  подрегулируйте скорость привода до заданной величины (например,  $1\,200 \text{ об./мин}$ ).
21. Резистором задания  $U_{\text{упр. ручн}}$  блока возбуждателя  $A5$  задайте нужный ток якоря двигателя постоянного тока (например,  $0,5 \text{ А}$ ) по среднему мультиметру блока  $PI$ .
22. Переключателями  $SA4$ ,  $SA5$  подберите пропорциональный и интегральный коэффициенты для обеспечения требуемого быстродействия системы.
23. Замкните обратную связь по скорости.
24. Переведите переключатель  $SA2$  в положение со значением в  $2 \dots 2,5$  раза меньше, чем значение переключателя  $SA4$ . Переведите переключатель  $SA3$  на постоянную времени со значением в  $2 \dots 2,5$  раза большую, чем значение постоянной времени переключателя  $SA5$ .
25. Плавно вращая резистор  $R4$  БЛР, увеличьте скорость до номинальной (например,  $1\,200 \text{ об./мин}$ ). Резистором задания  $U_{\text{упр. ручн}}$  измените ток якоря до требуемой величины. По показаниям приборов и осциллографа следите за устойчивостью системы. Скорректируйте коэффициенты пропорционального и интегрального каналов регулятора тока и скорости, чтобы получить наилучшие показатели.
26. Резистором  $R4$  установите скорость, равную заданной скорости «паузы» (например,  $300 \text{ об./мин}$ ).
27. Переключите переключатель  $SA6$  на импульсный режим работы.
28. Когда загорится светодиод возле резистора  $R3$ , плавно вращая его, установите скорость, равную заданной скорости «импульса» (например,  $1\,200 \text{ об./мин}$ ).
29. Резистор  $R3$  определяет напряжение задания только тогда, когда возле него горит светодиод.
30. Установите положение резистора  $R2$  так, чтобы в период укладывался весь переходный процесс до установившегося режима работы электропривода.
31. Отрегулируйте параметры задатчика интенсивности (ЗИ): время задания разгона – резистором  $R6$  и время задания торможения – резистором  $R5$ . Резистором  $R1$  отрегулируйте ограничение на максимальную величину тока. Добейтесь оптимального переходного процесса под заданные требования.
32. Сравните полученный результат с результатом при управлении импульсным сигналом. Для этого уберите провод  $U_{\text{вых. зи}} - U_{\text{вх.}}$  и подключите провод  $U_{\Gamma} - U_{\text{вх.}}$ .
33. Запишите переходный процесс на осциллограф и распечатайте полученный результат.

34. Изменяя величину пропорционального и интегрального коэффициентов времени нарастания и спада в сторону уменьшения и увеличения, убедитесь по осциллографу, что переходный процесс ухудшается. Запишите и распечатайте полученные результаты для сравнения.

35. Изменяйте величину нагрузки, регулируя напряжение на выходе возбудителя. Убедитесь, что при полученных параметрах система остается устойчивой и в этих точках.

36. Сравните полученные результаты с результатами в одноконтурной системе (эксперимент 12.1).

37. Выключите стенд:

- 1) снимите напряжение с выхода источника  $G1$ , нажав красную кнопку на передней панели;
- 2) отключите блоки  $A1$ ,  $A5$ ,  $A8$ ,  $P1$  выключателями «СЕТЬ» в любой последовательности;
- 3) отключите автоматические выключатели источников  $G1$ ,  $G2$ .

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

Источник  $G1$  – трехфазный источник синусоидального напряжения промышленной частоты, предназначен для питания тиристорного преобразователя и выпрямителя и обеспечения их защиты от коротких замыканий и сверхтоков.

Источник  $G2$  – источник синусоидального напряжения промышленной частоты, предназначен для питания активных блоков стенда и обеспечения их защиты от коротких замыканий и сверхтоков.

Блок регуляторов (БЛР)  $A7$  формирует систему подчиненного управления. Внешний контур замкнут по скорости двигателя. Сигнал скорости поступает с блока указателя частоты вращения (УЧВ)  $A8$ , преобразующего импульсный сигнал энкодера, расположенного на валу электромашинного агрегата  $A4$ . Внутренний контур замкнут по току якоря двигателя. Сигнал, пропорциональный току, поступает с модуля датчика тока блока БЛР. Датчик тока формирует сигнал тока и обеспечивает его потенциальную развязку от силовых цепей питания двигателя постоянного тока.

Тиристорный преобразователь (ТП)  $A1$  работает в режиме трехфазного управляемого выпрямителя. ТП питает якорную обмотку двигателя постоянного тока электромашинного агрегата. Выпрямитель  $A2$  питает обмотку возбуждения двигателя постоянного тока. Трехфазная трансформаторная группа  $TV1$  формирует требуемый уровень напряжения на входе ТП и обеспечивает потенциальную развязку от сетевого напряжения. Терминал  $A3$  позволяет ввести управляющий сигнал в ТП. Блок указателя частоты вращения  $A8$  получает сигнал, пропорциональный скорости, с энкодера, расположенного на валу электромашинного агрегата, и формирует сигнал обратной связи по скорости для БЛР  $A7$ .

Возбудитель синхронной машины А5 запитывает роторную обмотку универсальной машины переменного тока электромашинного агрегата А4, а активная мощность нагружает статорную обмотку этого агрегата. Изменением величины тока возбуждения можно подобрать требуемую нагрузку двигателя постоянного тока.

Средний мультиметр блока **PI** используется для измерения величины тока якоря ДПТ. Правый мультиметр блока **PI** контролирует величину сигнала задания.

Для наблюдения за переходными процессами сигналов в схеме используется USB-осциллограф (АКИП-4107).

### ***Контрольные вопросы к защите***

1. Объясните схему регулирования напряжения в тиристорном выпрямителе.
2. Объясните физическую сущность процесса коммутации.
3. Объясните принцип работы ведомого и автономного инверторов.
4. Как регулируется скорость электродвигателей в системе ТП-Д?

## Лабораторная работа № 6

### Электропривод системы «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока независимого возбуждения с подчиненным регулированием по напряжению»

#### Цель работы

На основании экспериментальных данных произвести расчет электропривода системы «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока независимого возбуждения с подчиненным регулированием по напряжению».

#### Ход работы

1. Изучить состав аппаратуры, входящей в схему, согласно табл. 19.1.
2. Собрать электрическую схему соединений по рис. 19.1.
3. Выполнить эксперимент, руководствуясь указаниями по его проведению.
4. Изучить описание к схеме электрических соединений.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 19.1

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>G1</i>	Трехфазный источник питания	201.4	~ 400 В / 6 А
<i>G2</i>	Однофазный источник питания	218	~ 220 В / 6 А
<i>A1</i>	Тиристорный преобразователь-регулятор	207.2	3 × 400 В ~ / 2 А / 6 тиристоров
<i>A2</i>	Выпрямитель	322.1	~ 400 В / 2 А
<i>A3</i>	Терминал	304	6 розеток с 8 контактами; 6 × 8 гнезд
<i>A4</i>	Электромашинный агрегат	100.2	Машина постоянного тока: 90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 2 × 110 В / 0,25 А (возбуждение). Машина переменного тока: 100 Вт / ~ 230 В / 1 500 мин <sup>-1</sup> . Преобразователь угловых перемещений: 6 вых. каналов / 2 500 импульсов за оборот



<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
<u>A5</u>	<u>Возбудитель синхронной машины</u>	<u>209.2</u>	<u>- 0...40 В / 3.5 А</u>
<u>A6</u>	<u>Активная нагрузка</u>	<u>306.1</u>	<u>220 В / 3 × 0...50 Вт</u>
<u>A7</u>	<u>Блок регуляторов</u>	<u>2352</u>	<u>П и ПИ регуляторы / задатчик интенсивности / генератор ИМПУЛЬСОВ</u>
<u>A8</u>	<u>Указатель частоты вращения</u>	<u>506.3</u>	<u>-2 000...0...2 000 мин<sup>-1</sup></u>
<u>TV1</u>	<u>Трехфазная трансформаторная группа</u>	<u>347.3</u>	<u>3 × 80 В·А (звезда) / 220, 225, 230 В / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В</u>
<u>-</u>	<u>USB-осциллограф</u>	<u>1419.1</u>	<u>2 входа</u>

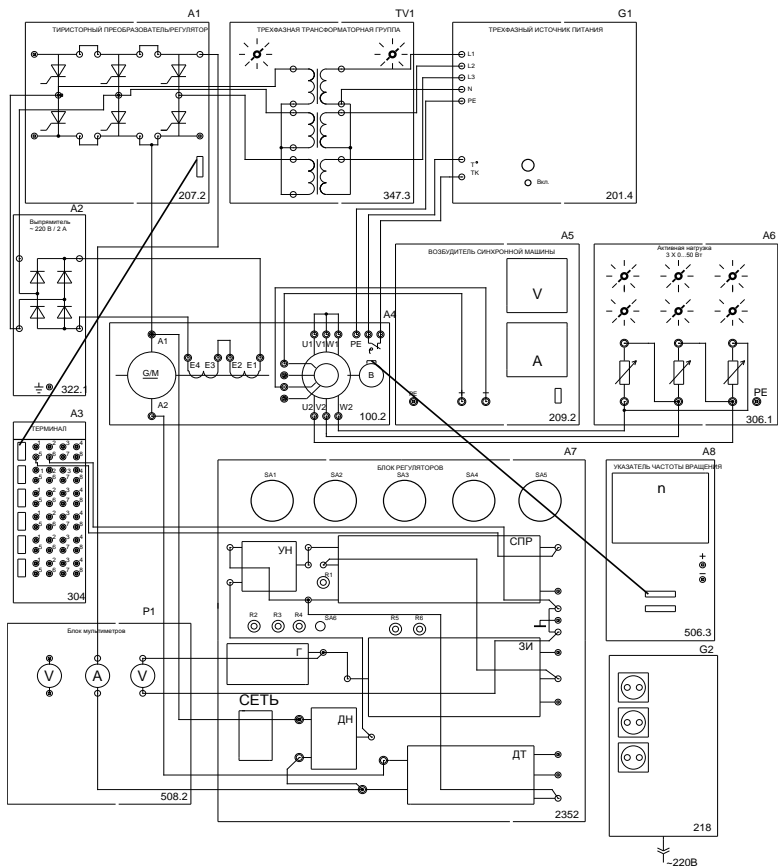


Рис. 19.1. Электрическая схема соединений

### **Указания по проведению эксперимента**

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

2. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

3. Подключите питающие кабели между источниками  $G1$ ,  $G2$  и внешней сетью.

4. Подключите питающие кабели между блоком  $G1$  и блоками  $A1$ ,  $A5$ ,  $A7$ ,  $A8$ ,  $P1$ .

5. Переключатель режима работы возбудителя  $A5$  установите в положение «РУЧН.».

6. Регулировочную рукоятку  $U_{\text{упр. ручн}}$  возбудителя  $A5$  поверните против часовой стрелки до упора.

7. Установите все регулировочные рукоятки активной нагрузки  $A6$  в крайнее по часовой стрелке положение.

8. Включите автоматические выключатели и устройства защитного отключения источников  $G1$ ,  $G2$ .

9. Включите выключатели «СЕТЬ» блоков  $A1$ ,  $A5$ ,  $A7$ ,  $A8$ ,  $P1$ . Включите средний и правый мультиметры, нажав кнопки на самих мультиметрах.

10. Установите предел тока среднего мультиметра равным 2 А.

11. Установите предел напряжения правого мультиметра равным 20 В.

12. Установите переключатели и резисторы БЛР  $A7$  в начальные положения для настройки контура регулирования по току:

- переключатель  $SA2$  – в положение 1;
- переключатель  $SA3$  – в положение 0R;
- переключатель  $SA4$  – в положение 0,5;
- переключатель  $SA5$  – в положение 1 (или в положения, полученные в результате предварительных расчетов);
- резистор  $R1$  – в максимальное положение (до упора по часовой стрелке);
- резистор  $R2$  – в среднее положение;
- резисторы  $R3$  –  $R6$  – в минимальное положение (до упора против часовой стрелки);

- тумблер  $SA6$  – в положение непрерывного сигнала.

Обратную связь установите по напряжению  $U_{\text{вых. ос}} - U_{\text{ос}}$ .

13. Подключите осциллограф к компьютеру и запустите программу **PicoScope6**. Установите шкалу равной 5 В/дел и развертку – 500 мс/дел. Подключите кабель ПД003 к осциллографу, общий провод шнура – к гнезду « - » указателя частоты вращения  $A8$  (через разветвитель), сигнальный провод шнура – к выходу « + » (через разветвитель).

14. Установите режим работы тиристорного преобразователя  $A1$ : «Импульсы широкие»; «Упр-е авт.».

15. Включите режим трехфазного выпрямителя, длительно нажав кнопку «**ЗФ-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ**». При правильно установленных параметрах на индикаторе должен отражаться угол 170 градусов.

16. Подайте напряжение на выход источника  $G1$ , нажав кнопку «**ВКЛ.**».

17. Подайте напряжение на выход возбuditеля  $A5$ , нажав кнопку «**ВКЛ.**».

18. Плавно вращая резистор  $U_{\text{упр. ручн}}$  БЛР, задайте ток возбuditеля  $A5$  равным 1,5 А.

19. Плавно вращая резистор  $R4$  БЛР, установите по правому мультиметру блока  $PI$  величину задания 2 В.

20. Регулировочной рукояткой  $U_{\text{упр. ручн}}$  возбuditеля  $A5$  подкорректируйте скорость привода до заданной величины (например, 1 200 об./мин).

21. Переключателями  $SA4$ ,  $SA5$  подберите пропорциональный и интегральный коэффициенты для обеспечения требуемого быстрого действия системы.

22. Замкните обратную связь по скорости.

23. Переведите переключатель  $SA2$  в положение со значением в 2...2,5 раза меньше, чем значение переключателя  $SA4$ . Переведите переключатель  $SA3$  на постоянную времени со значением в 2...2,5 раза большую, чем значение постоянной времени переключателя  $SA5$ .

24. Плавно вращая резистор  $R4$  БЛР, увеличьте скорость до желаемой (например, 1 200 об./мин).

25. Резистором задания  $U_{\text{упр. ручн}}$  блока  $A5$  изменяйте величину тока якоря. Переключателем  $SA1$  добейтесь, чтобы при изменении тока якоря в широких пределах скорость двигателя менялась как можно меньше.

26. Резистором задания  $U_{\text{упр. ручн}}$  блока  $A5$  установите заданный ток якоря  $ДПТ$  (например, 0,3 А).

27. По показаниям приборов и осциллографа следите за устойчивостью системы. Скорректируйте коэффициенты пропорционального и интегрального каналов регуляторов тока и скорости, чтобы получить наилучшие показатели по быстротечности системы.

28. Резистором  $R4$  установите скорость, равную заданной скорости «паузы» (например, 300 об./мин).

29. Переключите переключатель  $SA6$  в импульсный режим работы.

30. Дождитесь, когда загорится светодиод возле резистора  $R3$ , и, плавно вращая резистор, установите скорость, равную заданной скорости «импульса» (например, 1 200 об./мин).
31. Резистор  $R3$  определяет напряжение задания только тогда, когда возле него горит светодиод.
32. Измените сопротивление резистора  $R2$  так, чтобы в период укладывался весь переходный процесс до установившегося режима работы электропривода.
33. Подберите оптимальные параметры задатчика интенсивности (ЗИ): время разгона – резистором  $R6$  и время торможения – резистором  $R5$ .
34. Сравните полученный результат с результатом при управлении импульсным сигналом. Для этого уберите провод  $U_{\text{вых. зи}} - U_{\text{вх}}$  и подключите провод  $U_{\Gamma} - U_{\text{вх}}$ .
35. Резистором  $R1$  отрегулируйте ограничение на задание максимальной величины тока. Добейтесь оптимального переходного процесса под заданные требования.
36. Запишите переходный процесс на осциллограф и распечатайте полученный результат.
37. Изменяя величину пропорционального и интегрального коэффициентов времени нарастания и спада в сторону уменьшения и увеличения, убедитесь по осциллографу, что переходный процесс ухудшается. Запишите и распечатайте полученные результаты для сравнения.

38. Изменяя величину нагрузки, регулируя напряжение на выходе возбудителя, убедитесь, что при полученных параметрах система остается устойчивой и в этих точках.

39. Выключите стенд:

- 1) снимите напряжение с выхода источника *G1*, нажав красную кнопку на передней панели;
- 2) отключите блоки *A1*, *A5*, *A8*, *P1* выключателями «*СЕТЬ*» в любой последовательности;
- 3) отключите автоматические выключатели источников *G1*, *G2*.

### **Описание электрической схемы соединений**

Источник *G1* – трехфазный источник синусоидального напряжения промышленной частоты, предназначен для питания тиристорного преобразователя и выпрямителя и обеспечения их защиты от коротких замыканий и сверхтоков.

Источник *G2* – источник синусоидального напряжения промышленной частоты, предназначен для питания активных блоков стенда и обеспечения их защиты от коротких замыканий и сверхтоков.

Блок регуляторов (БЛР) *A7* формирует систему подчиненного управления. Внешний контур замкнут по скорости двигателя. Сигнал скорости поступает с блока указателя частоты вращения (УЧВ) *A8*, преобразующего импульсный сигнал энкодера, расположенного на валу электромашинного агрегата *A4*. Внутренний контур замкнут по току якоря двигателя. Сигнал, пропорциональный току, поступает с модуля датчика тока блока БЛР. Датчик тока формирует сигнал тока и обеспечивает его потенциальную развязку от силовых цепей питания двигателя постоянного тока.

Тиристорный преобразователь (ТП) *A1* работает в режиме трехфазного управляемого выпрямителя. ТП питает якорную обмотку двигателя постоянного тока электромашинного агрегата. Выпрямитель *A2* питает обмотку возбуждения двигателя постоянного тока. Трехфазная трансформаторная группа *TV1* формирует требуемый уровень напряжения на входе ТП и обеспечивает потенциальную развязку от сетевого напряжения. Терминал *A3* позволяет ввести управляющий сигнал в *ТПР*. Блок указателя частоты вращения *A8* получает сигнал, пропорциональный скорости, с энкодера, расположенного на валу электромашинного агрегата, и формирует сигнал обратной связи по скорости для БЛР *A7*.

Возбудитель синхронной машины *A5* запитывает роторную обмотку универсальной машины переменного тока электромашинного агрегата *A4*, а активная мощность нагружает статорную обмотку этого агрегата. Изменением величины тока возбуждения можно подобрать требуемую нагрузку двигателя постоянного тока. Средний мультиметр блока *P1* используется для измерения величины тока якоря ДПТ. Правый мультиметр блока *P1* контролирует величину сигнала задания. Для наблюдения за переходными процессами сигналов в схеме используется USB-осциллограф (АКИП-4107).

### **Контрольные вопросы к защите**

1. Как получить тормозные режимы двигателя в системе ТП-Д?
2. Что такое преобразователи непосредственного типа? При каких условиях они используются и для чего?
3. Расскажите о применении тиристорных преобразователей.

### *Лабораторная работа № 7*

## **Электропривод системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с регулированием по скорости»**

### **Цель работы**

На основании экспериментальных данных произвести расчет электропривода системы «Преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с регулированием по скорости».

### **Ход работы**

1. Изучить состав аппаратуры, входящей в схему, согласно табл. 20.1.
2. Собрать электрическую схему соединений по рис. 20.1.
3. Выполнить эксперимент, руководствуясь указаниями по его проведению.
4. Изучить описание к схеме электрических соединений.
5. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 20.1

Перечень аппаратуры

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<u>G1</u>	<u>Трехфазный источник питания</u>	<u>201.4</u>	<u>~ 400 В / 6 А</u>
<u>G2</u>	<u>Однофазный источник питания</u>	<u>218</u>	<u>~ 220 В / 6 А</u>
<u>A1</u>	<u>Тиристорный преобразователь-регулятор</u>	<u>207.2</u>	<u>3 × 400 В ~ / 2 А /</u> <u>6 тиристоров</u>
<u>A2</u>	<u>Выпрямитель</u>	<u>322.1</u>	<u>~ 400 В / 2 А</u>
<u>A3</u>	<u>Терминал</u>	<u>304</u>	<u>6 розеток с 8 контактами;</u> <u>6 × 8 гнезд</u>
<u>A4</u>	<u>Электромашинный агрегат</u>	<u>100.2</u>	<u>Машина постоянного тока:</u> <u>90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь)</u> <u>/ 2 × 110 В / 0,25 А</u> <u>(возбуждение) . Машина</u> <u>переменного тока: 100 Вт / ~</u> <u>230 В /</u> <u>1 500 мин<sup>-1</sup> .</u> <u>Преобразователь угловых</u> <u>перемещений:</u> <u>6 вых. каналов / 2 500</u> <u>импульсов за оборот</u>

<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
<u>A5</u>	<u>Возбудитель синхронной машины</u>	<u>209.2</u>	<u>- 0...40 В / 3,5 А</u>
<u>P</u>	<u>USB-осциллограф</u>	<u>1419.1</u>	<u>2 входа</u>

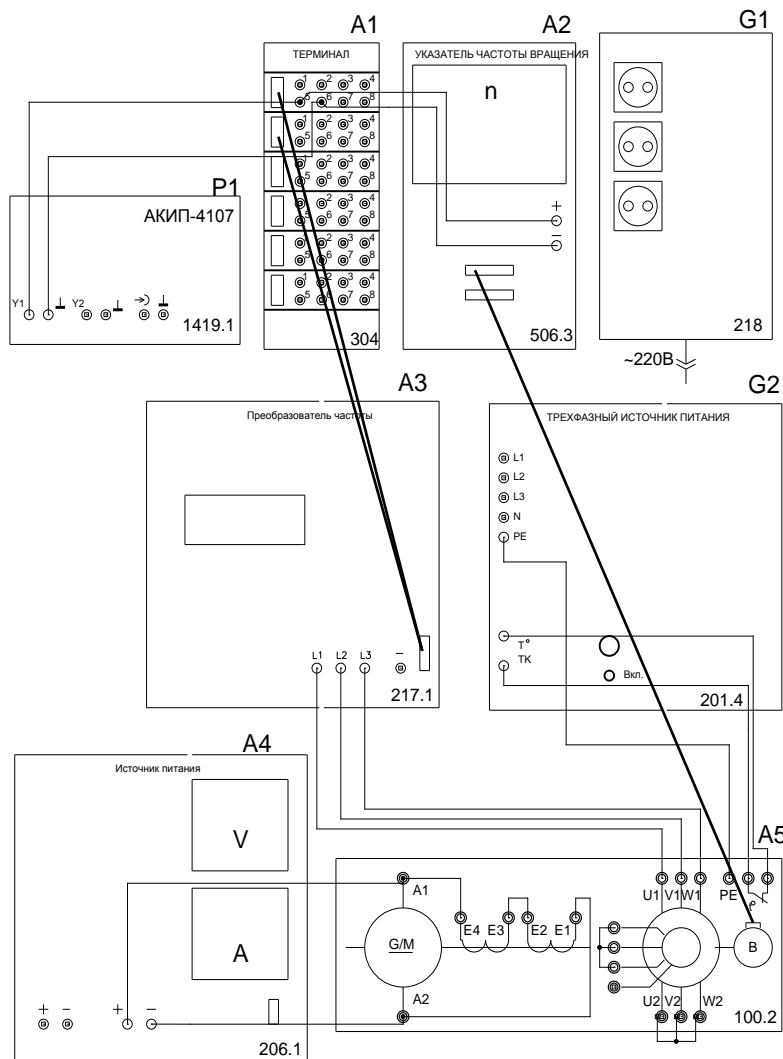


Рис. 20.1. Электрическая схема соединений

### **Указания по проведению эксперимента:**

В качестве исходных параметров устанавливаем:

- а) пропорциональный коэффициент ПИ регулятора = 1;
- б) интегральный коэффициент ПИ регулятора = 1;
- в) ток источника питания на номинальной скорости = 0,5 А.

Требуется проконтролировать переходный процесс в системе при заданных параметрах и изменением пропорционального и интегрального коэффициентов добиться оптимального быстродействия системы без перерегулирования скорости; снять характеристики привода при полученных настройках регулятора.

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

2. Подключите источники питания  $G1$ ,  $G2$  к внешней электрической сети.

3. Подключите шнуры питания от источника  $G1$  к блокам  $A3$ ,  $A2$ .

4. Подключите шнур питания от источника  $G2$  к блоку  $A4$ .

5. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

6. Установите тумблер источника питания  $A4$  в положение «РУЧН.».

7. Потенциометр  $U_{\text{упр. ручн}}$  источника питания  $A4$  установите на отметке «ноль» (поверните до упора против часовой стрелки).

8. Включите автоматические выключатели и устройства защитного отключения источников  $G1$ ,  $G2$ .

9. Включите выключатель «СЕТЬ» на передней панели преобразователя частоты (ПЧ)  $A3$ . Кнопками «ВЫБОР СТРАНИЦЫ» переключитесь на страницу «Эксперимент № 2: Исследование настроек ПИ регулятора».

10. Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» переключитесь на режим «Массив изменяемых параметров». Установите параметры в соответствии с заданием. После правильной установки параметров экран должен принять вид, показанный на рис. 20.3.

11. Кнопкой «ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ» переключитесь на экран «Массив контролируемых параметров». Потенциометром  $U_{\text{упр. ручн}}$  установите выход ПИ регулятора равным 50 рад/с.

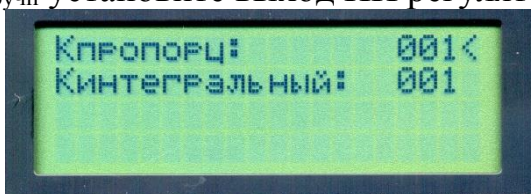


Рис. 20.3 Экран изменяемых параметров с установленными параметрами эксперимента

12. Включите выключатель на передней панели источника  $A4$ . Потенциометром  $U_{\text{упр. ручн}}$  установите напряжение на его выходе равным 180 В.

13. Включите выключатель на передней панели указателя частоты вращения (УЧВ)  $A2$ .

14. Подключите осциллограф к стенду.

15. Подключите к каналу 1 осциллографа кабель ПД.003 без делителя. Выводы кабеля подключите к выходу скорости блока УЧВ (через разветвители).



16. Величину шкалы канала А установите в  $\pm 5$  В.
17. Подайте напряжение на выход автономного инвертора напряжения А3, включив кнопку **«ВПЕРЕД»**. Дождитесь установившегося режима скорости по показаниям прибора на блоке УЧВ.
18. Подайте напряжение на выход источника питания А4, нажав кнопку **«ПУСК»**. Изменяя напряжение потенциометром  $U_{\text{упр. ручн}}$ , увеличьте ток источника питания до 0,8 А.
19. Снимите напряжение с выхода источника питания А4, включив кнопку **«ВКЛ.»**. По осциллографу контролируйте переходный процесс торможения двигателя.
20. Повторно подайте напряжения на выход блока А4. Проконтролируйте переходный процесс при набросе нагрузки.
21. Остановите двигатель, нажав кнопку **«СТОП»**.
22. Нажимайте кнопку **«ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ»** до переключения на экран режима *«Массив изменяемых параметров»*. Измените величину пропорционального и интегрального коэффициентов как считаете нужным для получения оптимальной траектории разгона и торможения электропривода.

23. Кнопкой **«ВЫБОР ИНФОРМАЦИИ НА ДИСПЛЕЕ»** переключитесь на экран контролируемых параметров. Запустив двигатель кнопкой **«ВПЕРЕД»** и остановив двигатель кнопкой **«СТОП»**, проконтролируйте по осциллографу *P1* новые переходные процессы.

24. Повторите корректировку пропорционального и интегрального коэффициентов до получения необходимого результата.

25. Выключение стенда производите в следующей последовательности:

- 1) нажмите кнопку **«СТОП»** блока *A3*;
- 2) нажмите кнопку **«ОТКЛ.»** блока *A4*;
- 3) отключите выключатели **«СЕТЬ»** блоков в любой последовательности;
- 4) отключите автомат на блоке *G1*;
- 5) отключите автоматы на блоке *G2*.

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

Источник *G1* – источник синусоидального напряжения промышленной частоты, предназначен для питания активных блоков стенда и обеспечения их защиты от коротких замыканий и сверхтоков.

Источник *G2* – трехфазный источник синусоидального напряжения промышленной частоты для обеспечения питания блока *A4*.

Преобразователь частоты (ПЧ) *A3* – блок, работающий в режиме трехфазного автономного инвертора напряжения и обеспечивающий питание асинхронного двигателя электромашинного агрегата *A5*. Параметры встроенного в блок цифрового пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора настраиваются в лабораторной работе для получения оптимального быстродействия системы.

Указатель частоты вращения (УЧВ) *A2* обеспечивает измерение скорости вращения электромашинного агрегата. По данному параметру замыкается обратная связь по скорости, и скорость является выходным параметром системы.

Источник питания двигателя постоянного тока *A4* и двигатель постоянного тока обеспечивают необходимую статическую нагрузку асинхронного двигателя.

Блок мультиметров *PI* позволяет измерять токи и напряжения в исследуемом устройстве.

Для наблюдения за переходными процессами сигналов в схеме используется USB-осциллограф (АКИП-4107) *PI*.

В целом схема обеспечивает структурную схему электропривода, представленную на рис. 20.2.

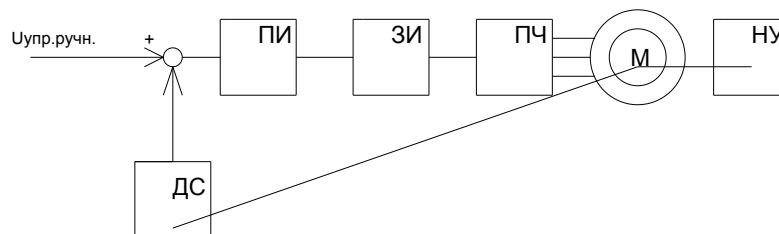


Рис. 20.2. Структурная схема электропривода, исследуемая в работе

Задание  $U_{\text{упр.ручн}}$  снимается с одноименного потенциометра на передней панели блока ПЧ А3. Отрицательная обратная связь по скорости обеспечивается датчиком скорости (ДС). Он собран на энкодере, расположенном на валу асинхронного двигателя, и блоке УЧВ А4. Пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор – встроенный цифровой регулятор блока А3. Задатчик интенсивности (ЗИ), встроенный в блок А3, – цифровой задатчик интенсивности. Время разгона и торможения ЗИ с нулевой до номинальной скорости 157 рад/с равно 3 с.

Преобразователь частоты (ПЧ) – автономный инвертор напряжения А3, питающий асинхронный двигатель *М*. Нагрузочное устройство (НУ) включает в себя двигатель постоянного тока параллельного возбуждения, питается от источника напряжения А4.

### **Контрольные вопросы к защите**

1. Перечислить системы частотного управления асинхронным двигателем, их назначение и особенности работы.
2. Сравнить основные показатели контактных и бесконтактных аппаратов управления асинхронными двигателями.
3. Перечислить варианты бестоковой коммутации при управлении асинхронными двигателями.

## **4. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

4.1 Рекомендации по освоению лекционного материала, подготовке к лекциям.

Лекции являются основным видом учебных занятий в высшем учебном заведении. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных взглядов и освещение основных проблем изучаемой области знаний.

Значительную часть теоретических знаний студент должен получать самостоятельно из рекомендованных основных и дополнительных информационных источников (учебников, Интернет-ресурсов, электронной

образовательной среды университета). В тетради для конспектов лекций должны быть поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. В конспектах рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись. Вопросы, возникшие в ходе лекций, рекомендуется делать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснениями к преподавателю.

После окончания лекции рекомендуется перечитать записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций рекомендуется использовать при подготовке к практическим занятиям (лабораторным работам), экзамену, контрольным тестам, коллоквиумам, при выполнении самостоятельных заданий.

#### 4.2 Рекомендации по подготовке к практическим занятиям.

Для подготовки к практическим занятиям необходимо заранее ознакомиться с перечнем вопросов, которые будут рассмотрены на занятии, рекомендуемой основной и дополнительной литературой, содержанием рекомендованных Интернет-ресурсов. Необходимо прочитать соответствующие разделы из основной и дополнительной литературы, рекомендованной преподавателем, выделить основные понятия и процессы, их закономерности и движущие силы, взаимные связи. При подготовке к занятию не нужно заучивать учебный материал. На практических занятиях нужно выяснять у преподавателя ответы на интересующие или затруднительные вопросы, высказывать и аргументировать свое мнение.

#### 4.3 Рекомендации по подготовке к лабораторным занятиям.

Целью лабораторного практикума является: ознакомление с устройством, принципом действия и характеристиками машин переменного тока; закрепление теоретических знаний в области машин переменного тока, получение навыков их экспериментального исследования, а также обработки полученных результатов; приобретение навыков чтения и сборки электрических схем, включения и испытания машин переменного тока в различных режимах; приобретение навыков суммирования и обобщения полученных результатов экспериментальных исследований, умения формулировать правильные выводы о работе машины и физических процессах, протекающих в ней.

## 5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. *Алексеев, В. С.* Основы электропривода. Ч. 1: учебно-методическое пособие / В. С. Алексеев. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2005. – 126 с.

2. *Белов О.А.* Судовые электроприводы. Основы теории и динамики переходных процессов: учеб. пособие / О.А. Белов. – М.: Моркнига, 2016. – 188 с.

3. *Березкина, Т. Ф.* Задачник по общей электротехнике с основами электроники: учеб. пособие / Т. Ф. Березкина, Н. Г. Гусев, В. В. Масленников. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 1998. – 380 с.

4. *Епифанов, А. П.* Основы электропривода: учебное пособие для вузов / А. П. Епифанов. – СПб.: Лань, 2008. – 192 с.

Дополнительная литература

5. *Белов О.А.* Электротехника и электроника на судах рыбопромыслового флота: учеб. пособие / О.А. Белов, А.И. Парфенкин. – М.: Моркнига, 2017. – 344 с.

6. *Кисаримов, Р. А.* Электропривод: справочник / Р. А. Кисаримов. – М.: РадиоСофт, 2008. – 351 с.

7. *Коломиец, А. П.* Электропривод и электрооборудование: учебник / А. П. Коломиец, Н. П. Кондратьева, И. Р. Владыкин, С. И. Юран. – М.: КолосС, 2006. – 328 с.

8. *Москаленко, В. В.* Электрический привод: учеб. пособие для сред. проф. образования / В. В. Москаленко. – 2-е изд., стер. – М.: издат. центр «Академия», 2004. – 368 с.

9. *Сенигов, П. Н.* Электрические машины и провод: руководство по выполнению базовых экспериментов. ЭМП.006 РБЭ (967.6) / П. Н. Сенигов, В. В. Чикота. – Челябинск: ИПЦ «Учебная техника», 2010. – 234 с.

10. *Фираго, Б. И.* Теория электропривода: учебное пособие. 2-е изд. / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик– Мн.: Техноперспектива, 2007. – 585 с.

11. *Ягодкин, В. Я.* Электроприводы судовых грузоподъемных механизмов: учеб. пособие / В. Я. Ягодкин. – СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2004. – 195 с.