

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Димитровградский инженерно-технологический институт –**

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**(ДИТИ НИЯУ МИФИ)**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Заместитель руководителя

\_\_\_\_\_ Т.И. Романовская

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.О.03.09 Электротехника и электроника**

Направление подготовки	15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств
Квалификация выпускника	Бакалавр
Профиль	Технология машиностроения
Форма обучения	очная
Выпускающая кафедра	Кафедра технологии машиностроения
Кафедра-разработчик рабочей программы	Кафедра общей и медицинской физики

Семестр	Трудоемкость час. (ЗЕТ)	Лекций, час.	Практич. занятий, час.	Лаборат. работ, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз., час./зачет)
5	144 (4)	16	16	16	60	Экзамен (36).
<b>Итого</b>	<b>144 (4)</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>60</b>	<b>Экзамен (36).</b>

Димитровград 2020 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....	3
3. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	9
6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВХОДНОГО И ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ (АННОТАЦИЯ).....	10
7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	11
8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	12
9. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ.....	13
10. АННОТАЦИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ .....	14
11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	15

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цель освоения дисциплины:

теоретическая и практическая подготовка студентов специальности 15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств в области электротехники и электроники для формирования общепрофессиональных компетенций, необходимых для эксплуатации технологического оборудования, в основе которого лежит использование электрической энергии.

### Задачи дисциплины:

- формирование у студентов знаний принципов действия, конструкций, свойств, областей применения и потенциальных возможностей основных электротехнических, электронных устройств и электроизмерительных приборов;
- формирование умения применять электротехнические и электронные устройства при эксплуатации современного машиностроительного оборудования и приборов, освоении технологических процессов с использованием электротехнологических процессов;
- формирование навыков самостоятельного применения знаний в области электротехники и электроники для решения производственных задач, связанных с профессиональной деятельностью.

## 2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций и индикаторов их достижения в соответствии с ОС НИЯУ МИФИ и ООП ВО по специальности.

### Общепрофессиональные компетенции и индикаторы их достижения:

Код и наименование ОПК	Код и наименование индикатора достижения ОПК
ОПК-5. Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда.	З-ОПК-1 Знать: принцип действия, режимы работы, области применения и характеристики электротехнического оборудования, электронных и электроизмерительных приборов; основы схемотехники электронных устройств, эксплуатационные характеристики основных электротехнических устройств (машин и аппаратов), электронных приборов и узлов. У-ОПК-1 Уметь: применять электротехнические и электронные устройства при эксплуатации современного физического оборудования и приборов; анализировать режимы работы электротехнологического оборудования, пользоваться стрелочными и электронными измерительными приборами. В-ОПК-1 Владеть: навыками применения знаний в области электротехники и электроники для решения научных и производственных задач; навыками эксплуатации физических установок, имеющих в своем составе электротехническое и электронное оборудование.

В результате изучения дисциплины студент специалитета должен:

#### *Знать:*

- принципы функционирования, свойства, области применения и потенциальные возможности основных электротехнических устройств (машин и аппаратов), электронных приборов и узлов, электроизмерительных приборов.

#### *Уметь:*

- применять электротехнические и электронные устройства в процессе изготовления машиностроительных изделий и при освоении технологических процессов в ходе подготовки производства новых изделий;

#### *Владеть:*

- навыками использования основных закономерностей электротехники и электроники, действующие в процессе изготовления машиностроительных изделий требуемого качества;

- навыками эксплуатации оборудования, имеющего в своем составе электротехнические и электронные устройства и узлы.

### 3. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное и трудовое воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование психологической готовности к профессиональной деятельности по избранной профессии (В15)	Использование воспитательного потенциала дисциплин общепрофессионального модуля для: - формирования устойчивого интереса к профессиональной деятельности, потребности в достижении результата, понимания функциональных обязанностей и задач избранной профессиональной деятельности, чувства профессиональной ответственности через выполнение учебных, в том числе практических заданий, требующих строгого соблюдения правил техники безопасности и инструкций по работе с оборудованием в рамках лабораторного практикума.

### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Электротехника и электроника» относится к обязательной части блока 1 общепрофессионального модуля учебного плана по программе бакалавриата для направления подготовки 15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, профиль «Технология машиностроения».

#### 4.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 4 зачетных единицы (ЗЕТ), 144 академических часов.

Таблица 4.1 Объем дисциплины по видам учебных занятий

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад. часов)	Семестр*	
		5	
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>144</b>	<b>144</b>	
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	
занятия лекционного типа	16	16	
занятия семинарского типа	32	32	
в том числе: семинары			
практические занятия	16	16	
практикумы			
лабораторные работы	16	16	
другие виды контактной работы			
в том числе: курсовое проектирование			
групповые консультации			
индивидуальные консультации			
иные виды внеаудиторной контактной работы			
<b>Самостоятельная работа обучающихся**:</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	
изучение теоретического курса	16	16	
расчетно-графические задания, задачи	44	44	
реферат, эссе			
курсовое проектирование			
<b>Вид промежуточной аттестации (зачет***, экзамен)</b>	<b>Экзамен (36)</b>	<b>Экзамен (36)</b>	

Таблица 4.2 - Распределение учебной нагрузки по разделам дисциплины

№ модуля образовательной программы*	№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, акад. часы					Формируемые компетенции
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Самостоятельная работа	Всего часов	
1	1	Электротехника	10	11	10	30	61	ОПК-05
	2	Электроника	6	5	6	30	47	ОПК-05
ИТОГО:			17	17	17	60	108	ОПК-05

#### 4.2. Содержание дисциплины

Удельный вес проводимых в активных и интерактивных формах проведения аудиторных занятий по дисциплине составляет \_\_\_\_\_22\_\_\_\_ %.

Таблица 4.3 Лекционный курс

№ лекции	Номер раздела	Тема лекции и перечень дидактических единиц*	Трудоемкость, акад. часов	
			всего	в том числе с использованием интерактивных образовательных технологий
1	1	Основные законы и понятия теории электрических цепей. Методы анализа линейных электрических цепей. Общие сведения об электрических цепях. Анализ линейных электрических цепей: применение законов Кирхгофа, методов узловых потенциалов, метод контурных токов и эквивалентного активного двухполюсника.	2	
2	1	Электрические цепи переменного тока. Способы представления синусоидальных функций напряжения, тока ЭДС в виде временных диаграмм и векторов. Мгновенное, среднее и действующее значения синусоидального тока (напряжения). Резистивные, индуктивные и емкостные элементы в цепи синусоидального тока. Фазовые соотношения между током и напряжением. Мощность в цепях переменного тока. Электрическая цепь с последовательным соединением элементов. Уравнения электрического состояния. Активное, реактивное и полное сопротивление двухполюсника Параллельное соединение приемников. Уравнения электрического состояния. Активная реактивная и полная проводимости цепи. Резонансные явления в электрических цепях. Резонанс напряжений: условия возникновения, практическое значение. Резонанс токов: условия воз-	2	

		никновения, практическое значение.		
3	1	Трехфазные электрические цепи. Элементы трехфазных цепей. Соединение элементов трехфазной цепи звездой и треугольником. Несимметричные режимы в трех- и четырехпроводных цепях. Назначение нейтрального провода. Мощность трехфазной цепи. Коэффициент мощности и способы его повышения. Техника безопасности при эксплуатации устройств в трехфазных цепях.	2	
4	1	Магнитные цепи электромагнитных устройств Трансформаторы. Назначение и области применения трансформаторов. Устройство и принцип действия однофазного трансформатора. Трехфазные трансформаторы. Специальные типы трансформаторов: автотрансформаторы, измерительные трансформаторы. Асинхронные машины. Назначение и устройство асинхронных машин. Принцип действия трехфазного асинхронного двигателя. Электромагнитный момент. Механические и рабочие характеристики.	2	
5	1	Синхронные машины. Устройство и принцип действия трехфазного синхронного генератора. Устройство и принцип действия синхронного двигателя. Электрические машины постоянного тока. Устройство машины постоянного тока. Электромагнитный момент двигателя постоянного тока (ДПТ). Механические и рабочие характеристики ДПТ.	2	
6	1	Принципы функционирования и характеристики полупроводниковых приборов. Свойства электронно-дырочного перехода. Переход полупроводников. Условные обозначения, основные свойства и характеристики выпрямительных диодов, стабилитронов, туннельных и обращенных диодов, диодов Шоттки Транзисторы. Биполярные транзисторы: структура, принцип работы, основные свойства, условные обозначения, схемы включения, характеристики входные и выходные, Основные свойства и характеристики полевых транзисторов. Условные обозначения, принцип действия, характеристики и назначение полевых транзисторов. Транзисторы с управляющим р-п-переходом. Транзисторы с изолированным затвором: с встроенным каналом, с индуцированным каналом. Тиристоры. Структура прибора, принцип действия, условные обозначения, характеристики и назначение.	2	

7	1	Аналоговые электронные устройства. Усилители. Усилительные каскады. Усилительный каскад с общим эмиттером. Коэффициент усиления. Дифференциальные усилители. Операционные усилители (ОУ). Обратные связи в операционных усилителях. Неинвертирующий и инвертирующий ОУ. Суммирующий, дифференцирующий и интегрирующий ОУ.	2	
8		Основы цифровой электроники. Логические операции и способы их аппаратной реализации. Комбинационные и последовательностные устройства цифровой электроники. Триггеры: RS-триггеры, D- триггеры, T- триггеры, JK- триггеры. Цифровые счетчики импульсов. Элементы памяти, регистры. Устройства комбинационной логики. Преобразователи кодов. Шифраторы и дешифраторы. Сумматоры. Мультиплексоры, демультимплексоры.	2	
Итого:			16	

Таблица 4.4 Практические занятия

№ занятия	Номер раздела	Наименование практического занятия и перечень дидактических единиц	Трудоемкость, акад. часов	
			всего	в том числе с использованием интерактивных образовательных технологий
1	1	Анализ и расчет электрических цепей с одним и несколькими источниками питания.. Режимы работы активного двухполюсника.	2	
2		Расчет электрических цепей методами узловых потенциалов, контурных токов	2	0,5
3	1	Расчет линейных цепей переменного тока с последовательным и параллельным соединением приемников.	2	0,5
4	1	Трехфазные электрические цепи. Соединение элементов трехфазной цепи звездой и треугольником. Несимметричные режимы в трех- и четырехпроводных цепях.. Мощность трехфазной цепи. Коэффициент мощности и способы его повышения.	2	0,5
5	1	Расчет магнитных цепей с постоянной МДС. Применение закона полного тока для анализа и расчета магнитной цепи.. Магнитные цепи переменных магнитных потоков.	2	0,5
6	1	Расчет мощности и выбор электродвигателя для электропривода машин и механизмов	2	0,5
7	1	Расчет усилительного каскада с общим эмиттером.	2	0,5
8	2	Схемотехника цифровых электронных устройств. Счетчики импульсов.	2	0,5
<b>ИТОГО:</b>			<b>16</b>	<b>4</b>

Таблица 4.5 Лабораторные работы

№ занятия	Номер раздела	Наименование лабораторной работы и перечень дидактических единиц	Трудоемкость, акад. часов	
			всего	в том числе в форме практической подготовки
1	2	Организация и правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ. Измерение электрических величин при выполнении лабораторных работ.	2	
2, 3	1	Лабораторная работа 1. Исследование электрической цепи при последовательном соединении катушки индуктивности и конденсатора	4	2
4	1	Лабораторная работа 2. Исследование трехфазной цепи при соединении потребителей «звездой»	2	1
5	1	Лабораторная работа 3 Исследование однофазного трансформатора. Опыт холостого хода и короткого замыкания. Эксплуатационные характеристики.	2	1
6	1	Лабораторная работа 5 Исследование режимов работы асинхронного двигателя	2	1
7	2	Лабораторная работа 6. Исследование усилительного каскада на биполярном транзисторе.	2	1
8	2	Лабораторная работа 6. Исследование логических элементов	2	1
<b>ИТОГО:</b>			<b>16</b>	<b>8</b>

Таблица 4.6 - Самостоятельная работа студента

Раздел дисциплины	№ п/п	Вид самостоятельной работы студента (СРС) и перечень дидактических единиц	Трудоемкость, часов
1	1	Расчетно-графическая работа 1. Анализ линейных электрических цепей постоянного тока.	6
	2	Расчетно-графическая работа 2. Анализ электрических цепей переменного тока.	6
1	3	Расчетно-графическая работа 3. Расчет и выбор мощности электродвигателя для производственно-технологического оборудования	6
2	4	Расчетно-графическая работа 4. Расчет усилительного каскада.	6
	4	Подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов	24
1, 2	5	Самостоятельное изучение следующих тем: Источники вторичного электропитания Полупроводниковые выпрямители: классификация, основные параметры. Электрические схемы и принцип работы выпрямителей (однофазных, трехфазных). Инверторы, преобразователи частоты. Повышение коэффициента мощности с помощью синхронного генератора. Интегральные микросхемы	12

		Фотоэлектрические приборы. Фоторезисторы. Фотодиоды. Фототранзисторы. Светодиоды. Оптоэлектронные приборы. Аналоговые электронные устройства. Усилители. Усилительные каскады. Температурная стабилизация усилительного каскада. Обратные связи в усилителях. Многокаскадные усилители. Автономные инверторы. Преобразователи частоты. Понятие о конверторах	
<b>ВСЕГО ЧАСОВ:</b>			<b>60</b>

Методические указания для самостоятельной работы и содержание заданий приводятся в Приложении 2.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе освоения дисциплины при проведении аудиторных занятий используются следующие образовательные технологии: лекции, практические занятия, лабораторные работы с использованием активных и интерактивных форм проведения занятий.

Интерактивное обучение реализуется как диалоговое обучение в ходе лекционных и практических занятий, что позволяет осуществлять взаимодействие между студентом и преподавателем, а также между самими студентами.

При выполнении лабораторных работ преподаватель занимается лишь общей организацией и регулированием процесса интерактивного взаимодействия студентов в бригадах, на которые разбивается студенческая группа. Преподаватель, кроме того, готовит заранее необходимые задания и формулирует вопросы для успешной реализации заданий, даёт консультации, контролирует время и порядок выполнения намеченного плана лабораторной работы. При выполнении заданий лабораторной работы студентам приходится вступать в коммуникацию друг с другом, совместно решать поставленные задачи, преодолевать конфликты, находить общие точки соприкосновения, идти на компромиссы. В результате лабораторные занятия позволяют интегрировать теоретические знания, практические умения и навыки в едином процессе деятельности.

Достижение планируемых результатов освоения дисциплины осуществляется за счет использования следующих образовательных технологий:

Методы ИТ (Internet-ресурсов) – при применении компьютеров для использования электронных версий учебников, учебных пособий, методических указаний, журнальных статей и описания изделий фирм-производителей;

Индивидуализация обучения – за счет организации лабораторного цикла по электротехнике и электронике по принципу: каждому студенту свое лабораторное место, а также выдачи индивидуальных домашних заданий в форме расчетно-графических работ и заданий при защите лабораторных работ;

Проблемное обучение. Для реализации положительной мотивации студента на обучение, постановке и организации процесса его самообразования внедрены элементы проблемно-поисковой технологии обучения, когда студенты должны:

узнавать схему с целью определения того, какие характеристики и параметры ее необходимо анализировать и рассчитывать;

демонстрировать действия алгоритмов анализа и синтеза различных объектов электротехники и электроники по изложенным на занятиях алгоритмам и приведенным примерам.

Указанная технология, когда студенту не приходится воспроизводить то, что он слышал на занятиях или видел в книгах, принципиально ведет к его самообразованию и воспитанию творческой личности.

На всех видах контроля студент должен продемонстрировать стандартные профессиональные действия за счет самостоятельного добывания необходимых знаний, умений и компетенций для конкретного и ранее неизвестного объекта электротехники и электроники.

Креативность и умение самостоятельно мыслить и самообразовываться могут возникнуть у студента в нестандартных проблемных ситуациях на лекциях и в лабораторном цикле. Для реализации этих профессионально значимых качеств в задачах и исследованиях используются условия с избыточными данными. Применяются вопросы с ветвлением допустимых решений, задачи на формирование прогноза, т.е. предполагаемых изменений в исходном объекте: «Что будет, если сделать то-то?».

При организации самостоятельной работы занятий используются методы самоуправляемой и самоконтролируемой познавательной деятельности, через расчетно-графические работы, закрепляющих инженерные методы и технологии решения задач электротехники и электроники, через самостоятельную обработку результатов экспериментов, полученных при выполнении лабораторных работ.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВХОДНОГО И ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ИТОВОЙ АТТЕСТАЦИИ (АННОТАЦИЯ)**

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о рейтинговой системе оценки знаний студентов ДИТИ НИЯУ МИФИ.

**Текущий контроль** студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем (ями), ведущими лабораторные работы и практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- тестирование;
- письменные домашние задания;
- выполнение лабораторных работ;
- защита лабораторных работ;
- устные опросы;
- расчетно-графические работы;
- отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность) – работа у доски, своевременная сдача тестов, отчетов к лабораторным работам и письменных домашних заданий.

**Промежуточный контроль** студентов производится в следующих формах:

- тестирование промежуточное;
- защита расчетно-графических работ;

**Итоговый контроль** по результатам семестров по дисциплине проходит в форме письменного экзамена (включает в себя ответ на теоретические вопросы и/или решения задач), зачета (включает в себя ответ на теоретические вопросы и тестирования).

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, перечислены в Приложении 3.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Таблица 7.1 - Обеспечение дисциплины основной и дополнительной литературой по дисциплине

№ п/п	Автор	Название	Место издания	Наименование издательства	Год издания	Количество экземпляров
<b>Основная литература</b>						
1	Жаворонков М.А., Кузин А.В.	Электротехника и электроника	Москва	«Академия»	2013	25
2	Миленина С.А., Миленин Н.К.	Электротехника, электроника и схемотехника	Москва	Юрайт	2021	[Электрон. ресурс] <a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
<b>Дополнительная литература</b>						
1	Белов Н.В., Волков Ю.С.	Электротехника и основы электроники	Санкт-Петербург	«Лань»	2012	[Электрон. ресурс] <a href="http://lanbook.com/ebs.php">http://lanbook.com/ebs.php</a>
2	Бессонов Л. А.	Теоретические основы электротехники. Электрические цепи	Москва	Гардарика	2002 2006	20 [Электрон. ресурс] <a href="http://library.mephi.ru">library.mephi.ru</a>
3	Прянишников В.А.	Теоретические основы электротехники.	Санкт-Петербург	КОРОНА принт	2018	[Электрон. ресурс] <a href="http://library.mephi.ru">library.mephi.ru</a>
4	Прянишников В.А.	Электроника: Полный курс лекций. - 4-е изд.	Санкт-Петербург	КОРОНА принт	2006	[Электрон. ресурс] <a href="http://library.mephi.ru">library.mephi.ru</a>
5	Фролов Ю.М., Шелякин В.П.	Сборник задачи примеров решений по электрическому приводу: учеб. пособие	Санкт-Петербург	Лань	2012	24
	Шмигирилов Ю.Г	Электрические и магнитные цепи: Учебное пособие	Дмитровград	ДИТИ НИЯУ МИФИ	2018 2021	25 [Электрон. ресурс] <a href="ftp://elib.diti-mephi.ru/2021/VO/Elektrotekhnika/Elektricheskiye_i_magnitnyye_tsepi.pdf">ftp://elib.diti-mephi.ru/2021/VO/Elektrotekhnika/Elektricheskiye_i_magnitnyye_tsepi.pdf</a> .
6	Шмигирилов Ю.Г.	Основы аналоговой и цифровой электроники	Дмитровград	ДИТИ НИЯУ МИФИ	2018	25
7	Шмигирилов Ю.Г.,	Лабораторный практикум по общей электротехнике и электронике	Дмитровград	ДИТИ НИЯУ МИФИ	2020	25

### 7.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень рекомендуемых Интернет сайтов:

Перечень рекомендуемых Интернет сайтов:

1. [library.mephi.ru/](http://library.mephi.ru/) (Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ)
2. [lanbook.com/ebs.php](http://lanbook.com/ebs.php) (Электронно-библиотечная система издательства «Лань»)

3. <https://urait.ru/> (Образовательная платформа Юрайт)
4. <https://www.studentlibrary.ru/> (Электронная библиотечная система "Консультант студента")
5. <http://www.knigafund.ru/> Электронно-библиотечная система «КнигаФонд»
6. [window.edu.ru/](http://window.edu.ru/) Единое окно доступа к образовательным ресурсам .Федеральный портал. Федеральный центр ЭОР .
7. <ftp://elib.diti-mephi.ru> Электронно-библиотечная система ДИТИ НИЯУ МИФИ

Таблица 7.2 – Рекомендуемые электронно-библиотечные системы

№	Наименование ресурса	Тематика
1	Электронная библиотечная система "Консультант студента»	Теория автоматического управления
2	Образовательная платформа Юрайт	Системы управления химико- технологическими процессами.
3	Электронно-библиотечная система издательства «Лань»)	Системы управления химико- технологическими процессами.
4	Электронно-библиотечная система НИЯУ МИФИ	Теория автоматического управления
5	Электронно-библиотечная система ДИТИ НИЯУ МИФИ	Теория автоматического управления

### 7.3 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 7.3 – Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

№	Наименование	Краткое описание
1	ПО MATLAB	Пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений, в частности, имеет наборы функций и объектов, облегчающих анализ и синтез динамических систем, проектирование, моделирование и идентификацию систем управления, включая современные алгоритмы управления, такие как робастное управление, $H_\infty$ -управление, ЛМН-синтез, $\mu$ -синтез и другие.

Таблица 7.4 – Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование	Тематика	Электронный адрес
1	Образовательная платформа Юрайт	Техническая	<a href="https://urait.ru/">https://urait.ru/</a>
2	"Консультант студента»	Техническая	<a href="https://www.studentlibrary.ru">https://www.studentlibrary.ru</a>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом, в том числе помещения для самостоятельной работы, с указанием перечня основного оборудования, учебных наглядных пособий и используемого программного обеспечения	Адрес (местоположение) помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом
1	Лекционные занятия: аудитории 101 и 104, оснащенные презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук); наглядные пособия в виде отдельных электронных устройств и приборов; комплект электронных презентаций/слайдов,	433511, Ульяновская область, г. Димитровград, ул. Куйбышева, д.294

	<p>Практические занятия: аудитории 101, 104, оснащенные презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук); компьютерами для самостоятельной работы; пакеты ПО общего назначения (текстовые редакторы, графические редакторы, MATLAB и Mathcad</p>	
	<p>Лабораторные работы: специализированная лаборатория «Электротехники и электроники», аудитории 104, 201, оснащенные универсальными лабораторными стендами типа НТЦ-01, НТЦ-12 и учебными микропроцессорными комплексами (УМК), обеспечивающими проведение всех предусмотренных программой лабораторных работ; наглядные пособия в виде отдельных электронных устройств и приборов.</p> <p>Прочее: рабочее место преподавателя в перечисленных аудиториях, оснащенное компьютером с доступом в Интернет.</p>	

## **9. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Минобрнауки РФ от 05.04.2017 № 301);
- Положением об организации обучения студентов-инвалидов и студентов с ограниченными возможностями здоровья в НИЯУ МИФИ, утвержденным 29.08.2017г.;
- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

## 10. АННОТАЦИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Электротехника» является частью базового цикла дисциплин подготовки студентов по направлению 15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, профиль Технология машиностроения. Дисциплина реализуется на физико-техническом факультете ДИТИ НИЯУ МИФИ кафедрой общей физики

### **Требования к уровню освоения содержания дисциплины.**

Дисциплина нацелена на формирование профессионально-прикладных компетенций ПК-21 выпускника.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с принципами функционирования, свойствами, областью применения и потенциальные возможности основных электронных приборов и устройств на их основе, что позволяет выпускнику:

**Знать:** методы анализа электрических цепей; принципы действия, режимы работы, и характеристики электротехнического оборудования необходимые для настройки и регламентного эксплуатационного обслуживания средств и систем машиностроительных производств;

**Уметь:** применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при изучении электротехники; совместно с инженерами электриками выполнять работы по настройке и регламентному обслуживанию электротехнических систем машиностроительных производств.

**Владеть:** навыками применения методов расчета простейших электрических цепей, определения параметров и характеристик типовых электротехнических и электронных устройств с целью их рационального использования.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости в форме:

- защиты лабораторных работ в соответствии с графиком выполнения по контрольным вопросам и тестам;
- оценкой заданий, выполняемых студентами на практических занятиях;
- по результатам защиты расчетно-графических работ в соответствии с графиком выполнения по контрольным вопросам и тестам;
- тестирование в течении семестра в соответствии с графиком текущего контроля (табл. 9).

и промежуточный контроль в форме зачета.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов.

Программой дисциплины предусмотрены лекционные (18 часов), лабораторные (18 часов), практические (18 часов) занятия и 54 часа самостоятельной работы студента.

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

### Методические указания для самостоятельной работы при выполнении расчетно-графических работ

#### Расчетно-графическая работа 1.

##### Анализ линейных электрических цепей постоянного тока.

##### Задание 1

Для заданной электрической схемы по заданным сопротивлениям и ЭДС выполнить следующее:

- 1) составить систему уравнений, необходимых для определения токов по первому и второму законам Кирхгофа;
- 2) найти токи во всех ветвях цепи, пользуясь методом контурных токов;
- 3) проверить правильность расчета токов в ветвях электрической цепи с помощью баланса мощностей;
- 4) рассчитать токи во всех ветвях цепи методом узловых потенциалов;
- 5) определить ток в резисторе  $r_6$  методом эквивалентного генератора;
- 6) определить показания вольтметра, включенного между двумя узлами (по заданию преподавателя).

#### Рекомендуемая литература

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учеб. для вузов / Л. А. Бессонов. – М. : Гардарики, 2006. – 701 с.
2. Электротехника и электроника. Электрические цепи: Учебное пособие для студентов направлений подготовки в области техники и технологии / Ю.Г. Шмигирилов, Л.Н. Шмигирилова. – Дмитровград: ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2014 г. – 118 с.

### Методические указания для выполнения расчетно-графической работы 1

#### Применение законов Кирхгофа для расчета электрических цепей

Для анализа и расчета разветвленных электрических цепей, как с одним источником ЭДС, так и с несколькими, пользуются законами Кирхгофа, которые устанавливают соотношения между токами ветвей, сходящихся в узлах, и напряжениями элементов, входящих в контуры. Для определения токов и напряжений необходимо составить систему уравнений цепи с помощью первого и второго законов Кирхгофа.

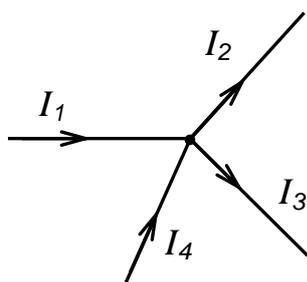


Рис.1.1

*Первый закон Кирхгофа* (вытекает из закона сохранения заряда): алгебраическая сумма токов ветвей, сходящихся в узле электрической цепи, равна нулю:

$$\sum i = 0.$$

Алгебраическое суммирование осуществляется с учетом направления токов: токи, входящие в узел, считаем

положительными, а токи, выходящие из узла - отрицательными.

Уравнение в соответствии с первым законом Кирхгофа для узла, изображенного на рис. 1.1 имеет вид:

$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 = 0$$

или

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3$$

- сумма токов, текущих к узлу равна сумме токов, вытекающих из узла.

*Второй закон Кирхгофа* (вытекает из закона сохранения энергии):

алгебраическая сумма напряжений на отдельных элементах любого контура электрической цепи равна нулю:

$$\sum u = 0. \quad (1.1)$$

Если ЭДС источников напряжений перенести в правую часть, а падение напряжения выразить через ток и сопротивление, то тогда второй закон Кирхгофа для цепи постоянного тока приобретает следующее выражение:

$$\sum ri = \sum e, \quad (1.2)$$

и формулировку: алгебраическая сумма падений напряжений в любом замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре.

Суммирование падений напряжений и ЭДС производится с учетом их направлений и выбранного направления обхода контура. Если направление ЭДС и падение напряжения совпадают с направлением обхода контура, то они входят в уравнение (1.2) со знаком плюс, в противном случае - со знаком минус.

Для контура, изображенного на рис.1.2, в соответствии с указанными направлениями токов и ЭДС и выбранным произвольно направлением обхода контура

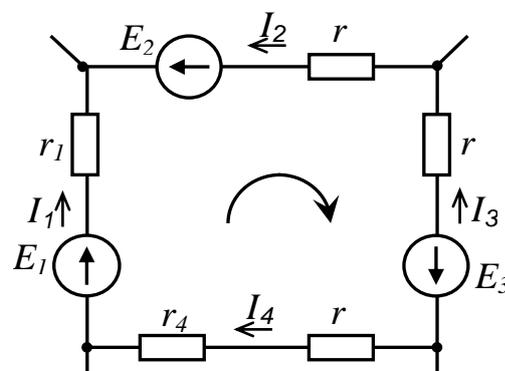


Рис. 1.2

уравнение запишется:

$$r_1 I_1 - r_2 I_2 - r_3 I_3 + (r_4 + r_5) I_4 = E_1 - E_2 + E_3.$$

Расчет электрических цепей на основе первого и второго законов Кирхгофа выполняется в следующем порядке:

устанавливается число ветвей и узлов в расчетной цепи;

выбираются произвольно условно-положительные направления токов в ветвях и обозначаются на схеме;

выбираются произвольно положительные направления обхода контуров для составления уравнений по второму закону Кирхгофа (целесообразно для всех контуров направления обхода выбирать одинаковыми);

составляется система из  $m$  уравнений по первому и второму законам Кирхгофа, где  $m$  - количество неизвестных токов, равное количеству ветвей. Чтобы получить линейно независимые уравнения, по первому закону Кирхгофа можно составить  $(n-1)$  независимых уравнений, где  $n$  - количество узлов цепи. Остальные  $[m-(n-1)]$  уравнения составляются по второму закону Кирхгофа для независимых контуров, т.е. контуров, отличающихся хотя бы одной новой ветвью, не вошедшей в предыдущие контуры.

### Метод контурных токов

Полученная выше система из шести уравнений достаточна для определения токов в ветвях цепи, но ее порядок относительно высок. Понизить порядок системы уравнений, а, следовательно, упростить расчеты можно с помощью методов *контурных токов* и *узловых напряжений (потенциалов)*.

В методе контурных токов вводят понятие «*контурный ток*», который протекает по всем ветвям соответствующего независимого контура. Действительные токи ветвей определяются контурными токами. Контурные токи удовлетворяют уравнениям Кирхгофа, поэтому их



$$[G] = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1,n-1} \\ g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2,n-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{n-1,1} & g_{n-1,2} & \dots & g_{n-1,n-1} \end{pmatrix} - \text{матрица узловых проводимостей};$$

$$[\Phi] = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \dots \\ \varphi_{n-1} \end{pmatrix} - \text{матрица определяемых узловых потенциалов};$$

$$[J] = \begin{pmatrix} J_{11} \\ J_{22} \\ \dots \\ J_{n-1,n-1} \end{pmatrix} - \text{матрица узловых токов.}$$

Решение системы уравнений (1.33) в матричной форме:

$$[\Phi] = [G]^{-1} [J]. \quad (1.5)$$

После определения узловых потенциалов  $\varphi_1, \varphi_2 \dots \varphi_{n-1}$  с помощью закона Ома определяют токи ветвей.

Расчет электрической цепи методом узловых потенциалов выполняется в следующей последовательности:

1. Последовательно нумеруются все узлы схемы (заземляемый базисный узел последний в нумерации). При наличии одной ветви с ЭДС и бесконечной проводимостью целесообразно принять за базисный узел один из узлов, к которому примыкает данная ветвь, тогда напряжение другого узла становится известным и число неизвестных сокращается на одно.
2. Составляется система из  $(n-1)$  узловых уравнений (1.3).
3. Находятся значения узловых токов, собственных узловых проводимостей и общих узловых проводимостей.
4. Решается система уравнений (1.3) и определяются узловые потенциалы.
5. По известным узловым потенциалам определяются токи ветвей.

#### Уравнение баланса мощности в электрических цепях.

Правильность расчета токов в ветвях электрической цепи можно проверить с помощью уравнения баланса мощности электрической цепи. Из закона сохранения энергии вытекает: в любой электрической цепи сумма мощностей всех источников электрической энергии должна быть равна сумме мощностей всех приемников. Если в электрической цепи имеются только источники ЭДС, то уравнение баланса мощности имеет вид:

$$\Sigma EI = \Sigma I^2 r, \quad (1.6)$$

где  $\Sigma EI$  – алгебраическая сумма мощностей источников ЭДС. Произведение  $EI$  входит в сумму со знаком «плюс», если направление тока  $I$ , протекающего через источник ЭДС  $E$ , совпадает с направлением ЭДС (источник ЭДС отдает энергию в цепь), и со знаком минус, если направления тока  $I$  и ЭДС  $E$  не совпадают (источник ЭДС потребляет энергию);

$\Sigma I^2 r$  – сумма мощностей потребителей резистивного типа, в которых происходит преобразование электрической энергии в тепловую;

Если схема имеет не только источники ЭДС, но и источники тока, то при составлении уравнения баланса мощности необходимо учесть их мощность. Общий вид уравнения баланса в этом случае имеет вид:

$$\Sigma EI + \Sigma UJ = \Sigma I^2 r, \quad (1.7)$$

где  $\Sigma UJ$  – алгебраическая сумма мощностей источников тока:  $UJ$  входит со знаком «плюс», если направления тока  $J$  и напряжения  $U$  не совпадают, и со знаком «минус», если совпадают.

При выполнении расчета токов в результате округления чисел возможен небаланс, относительная величина которого  $\delta$  не должна превышать 0,03:

$$\delta = \left| \frac{\sum EI - \sum I^2 r}{\sum EI} \right| \leq 0,03.$$

### Метод эквивалентного генератора

Метод эквивалентного генератора используется в случае, когда необходимо проанализировать электрическое состояние только одной ветви. В этом случае вся остальная часть цепи, к которой подключена данная ветвь, рассматривается в виде активного двухполюсника (рис.1.16,а).

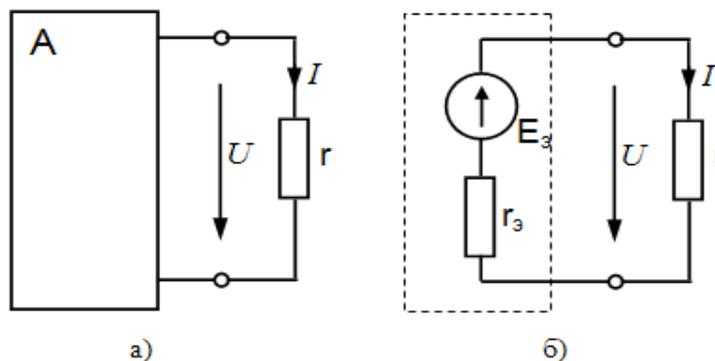


Рис.1.3

Активный двухполюсник может быть заменен эквивалентным генератором с эквивалентным значением ЭДС  $E_3$  и внутренним эквивалентным сопротивлением  $r_3$  (рис.1.3,б). Обоснование этого положения можно найти в [1].

ЭДС эквивалентного генератора  $E_3$  равна напряжению холостого хода на зажимах двухполюсника:

$$E_3 = U_{xx}. \quad (1.8)$$

Внутреннее сопротивление  $r_3$  равно эквивалентному входному сопротивлению пассивного двухполюсника со стороны разомкнутой ветви.

После замены активного двухполюсника эквивалентным генератором и определения  $E_3$  и  $r_3$  не трудно определить ток выделенной ветви:

$$I = \frac{E_3}{r_3 + r}. \quad (1.8)$$

Анализ электрического состояния одной ветви методом эквивалентного генератора выполняется в следующей последовательности:

1. Размыкается (отключается) выделенная ветвь, и выполняется расчет цепи одним из выше рассмотренных методов с последующим определением напряжения на зажимах двухполюсника ( $U_{xx}$ );
2. Определяется входное сопротивление двухполюсника  $r_3$ . Для этого предварительно в схеме двухполюсника источники ЭДС либо заменяются собственными внутренними сопротивлениями, либо, при отсутствии внутренних сопротивлений, закорачиваются;
3. Определяется искомый ток выделенной ветви по формуле (1.8), в которой  $E_3 = U_{xx}$ .

## Расчетно-графическая работа 2.

### Анализ линейных электрических цепей постоянного тока.

#### Задание

Для электрической цепи переменного тока (рис. 2.1) с заданным положением переключателей  $S1, S2^{1)}$  по заданным параметрам потребителей  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$ , и действующему значению ЭДС выполнить следующее:

- 1) Изобразить схему замещения, соответствующую заданным положениям переключателей S1, S2 и параметрам потребителей;
- 2) определить токи во всех ветвях цепи;
- 3) составить баланс активной и реактивной мощностей;
- 4) определить показания ваттметра и вольтметра, включенного между двумя узлами (по заданию преподавателя);
- 6) построить в масштабе на комплексной плоскости векторную диаграмму токов и потенциальную диаграмму напряжений по внешнему контуру.

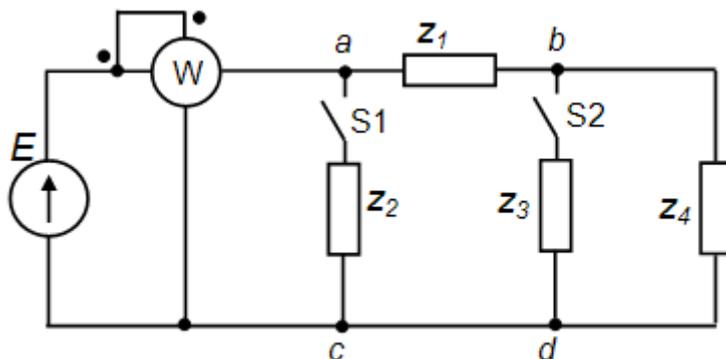


Рис.2.1

### Рекомендуемая литература

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учеб. для вузов / Л. А. Бессонов. – М. : Гардарики, 2006. – 701 с.
2. Электротехника и электроника. Электрические цепи: Учебное пособие для студентов направлений подготовки в области техники и технологии / Ю.Г. Шмигирилов, Л.Н. Шмигирилова. – Димитровград: ДИТИ НИЯУ МИФИ, 2014 г. – 118 с.

### Методические указания для выполнения расчетно-графической работы 2

#### Символический (комплексный) метод расчета электрических цепей синусоидального тока

Расчеты электрических цепей синусоидального тока, выполняемые в форме геометрических операций над векторами, просты, наглядны, но не обладают требуемой точностью. Эти операции с векторами можно заменить алгебраическими операциями с комплексными числами, что существенно повышает точность получаемых результатов. Для этого декартовую систему координат совмещают с комплексной плоскостью, т.е. ось абсцисс становится вещественной осью ( $+I$ ), а ось ординат – осью мнимых чисел ( $+j$ ).

В электротехнике в отличие от математики мнимая единица ( $\sqrt{-1}$ ) обозначается буквой  $j$ , так как буква  $i$  используется для обозначения мгновенного значения тока.

Радиус-векторам синусоидальных токов, напряжений и ЭДС, изображенным в комплексной плоскости будут соответствовать определенные комплексные числа. С помощью комплексных чисел можно также выразить сопротивления, проводимости, мощность. Это позволяет записать законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме. В результате этого, к анализу цепей переменного тока могут быть применены все методы анализа цепей постоянного тока. Комплексное представление синусоидальных электрических величин сочетает наглядность векторных диаграмм и высокую точность аналитических расчетов. Метод расчета электрических цепей синусоидального тока с помощью комплексных чисел получил название *символического метода*.

В качестве примера рассмотрим мгновенные значения напряжения  $u(t)$ , приложенного к приемнику (пассивному двухполюснику), и тока приемника  $i(t)$ . Аналитически они выражаются через синусоидальные функции времени:

$$\begin{aligned} u(t) &= U_m \sin(\omega t + \psi_u); \\ i(t) &= I_m \sin(\omega t + \psi_i). \end{aligned} \quad (2.83)$$

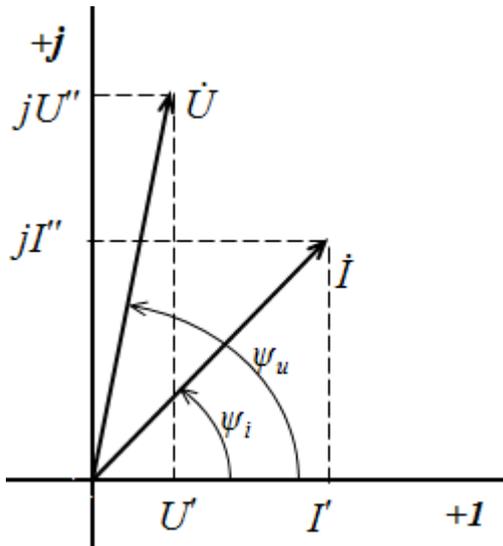


Рис.2.14

На комплексной плоскости напряжение и ток изображаются радиус-векторами либо амплитуд  $\dot{U}_m$  и  $\dot{I}_m$ , либо на практике при расчетах обычно пользуются векторами действующих значений  $\dot{U}$  и  $\dot{I}$  для  $\omega t=0$  (рис. 2.14). Положение векторов на комплексной плоскости определяется начальной фазой  $\psi_u$  и  $\psi_i$ . Радиус-векторам  $\dot{U}$  и  $\dot{I}$  соответствуют комплексные числа:

$$\dot{U} = U' + jU''; \quad (2.84)$$

$$\dot{I} = I' + jI'',$$

представляющие собой координаты точек на концах векторов или проекции векторов на действительную и мнимую оси. Данная форма записи комплексных чисел называется *алгебраической*. Выражая проекции векторов через их длину (модули) и начальную фазу:

$$\begin{aligned} U' &= U \cos \psi_u; & U'' &= U \sin \psi_u; \\ I' &= I \cos \psi_i; & I'' &= I \sin \psi_i; \end{aligned} \quad (2.85)$$

получим *тригонометрическую форму* записи комплексных амплитуд:

$$\dot{U} = U \cos \psi_u + jU \sin \psi_u = U(\cos \psi_u + j \sin \psi_u); \quad (2.86)$$

$$\dot{I} = I \cos \psi_i + jI \sin \psi_i = I(\cos \psi_i + j \sin \psi_i).$$

Из тригонометрической формы комплексного числа вытекает, в соответствии с формулой Эйлера ( $e^{j\psi} = \cos \psi + j \sin \psi$ ), *показательная форма* записи:

$$\dot{U} = Ue^{j\psi_u}; \quad (2.87)$$

$$\dot{I} = Ie^{j\psi_i}.$$

Все три формы записи комплексных чисел равнозначны и могут быть использованы при расчетах электрических цепей переменного тока. Выбор формы определяется удобством выполнения требуемой математической операции.

Переход от показательной формы (2.87) к алгебраической (2.84) происходит с помощью (2.85). Переход от алгебраической формы к показательной с помощью известных формул:

$$\begin{aligned} \dot{U} &= \sqrt{U'^2 + U''^2}; & \dot{I} &= \sqrt{I'^2 + I''^2}. \\ \psi_u &= \arctg \frac{U''}{U'}; & \psi_i &= \arctg \frac{I''}{I'}. \end{aligned} \quad (2.88)$$

Законы Ома и Кирхгофа справедливы в комплексной форме, поэтому полное комплексное сопротивление приемника (пассивного двухполюсника), обозначаемое  $\underline{Z}$ , равно:

$$\underline{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = \frac{Ue^{j\psi_u}}{Ie^{j\psi_i}} = Ze^{j\varphi} = R + jX, \quad (2.89)$$

где  $Z$  - модуль комплексного сопротивления,

$$Z = \frac{U}{I};$$

$\varphi = \psi_u - \psi_i$  - фазовый сдвиг между током и напряжением;

$R$  - активное сопротивление приемника:

$$R = Z \cos \varphi;$$

$X$  - реактивное сопротивление приемника:

$$X = Z \sin \varphi.$$

Для схемы рис. 2.6  $X = X_L - X_C$ , следовательно, комплексное сопротивление индуктивного элемента цепи ( $jX_L$ ), а емкостного элемента ( $-jX_C$ ).

По первому закону Кирхгофа алгебраическая сумма мгновенных значений токов ветвей, сходящихся в одном узле, равна нулю:

$$\sum i = 0. \quad (2.90)$$

В комплексной форме это уравнение запишется как

$$\sum \dot{I} = 0. \quad (2.91)$$

По второму закону Кирхгофа алгебраическая сумма мгновенных значений напряжений любого контура электрической цепи равна нулю:

$$\sum u = 0, \quad (2.92)$$

а в комплексной форме

$$\sum \dot{U} = 0. \quad (2.93)$$

Если в контуре имеются источники ЭДС, а схемы замещения содержат активные сопротивления ( $R$ ), индуктивные ( $L$ ) и емкостные ( $C$ ) элементы, то для замкнутого контура уравнение, составленное по второму закону Кирхгофа, будет иметь в символической форме следующий вид:

$$\sum \underline{Z} \dot{I} = \sum \dot{E}. \quad (2.94)$$

Полная мощность участка цепи в комплексной форме определяется как произведение напряжения на этом участке в комплексной форме  $\dot{U}$  на сопряженный комплекс тока  $\hat{I}$

$$(\hat{I} = I e^{-j\psi_i}, \text{ если } \dot{I} = I e^{j\psi_i})$$

$$\underline{S} = \dot{U} \hat{I} = U e^{j\psi_u} \cdot I e^{-j\psi_i} = UI e^{j\varphi}, \quad (2.95)$$

где  $\varphi = \psi_u - \psi_i$  – сдвиг по фазе между током и напряжением.

Комплекс полной мощности  $\underline{S}$  в тригонометрической форме состоит из активной мощности  $P$  – действительная часть, и реактивной мощности  $Q$  – мнимая часть

$$\underline{S} = UI \cos \varphi + j UI \sin \varphi = P + jQ. \quad (2.96)$$

Для определения мощности источника ЭДС в формулах (2.19) и (2.20)  $U$  следует заменить на  $E$ .

### Расчетно-графическая работа 3.

#### Расчет и выбор мощности электродвигателя для механизмов и машин

##### Задание

По заданным техническим характеристикам грузоподъемного крана (табл.1) выполнить следующее:

- определить мощность механизма подъема и выбрать асинхронный электродвигатель по каталогу;
- выбрать типовую схему электропривода для механизма подъема, дать техническое описание схемы;
- рассчитать и выбрать пуско-регулирующие резисторы для выбранной схемы электропривода.

Исходные данные:

$Q$  – грузоподъемность, т;

$\varepsilon$  – относительная продолжительность включения крановых механизмов;

$V_{\Pi}$  – скорость подъема груза, м/с;

$V_{\Gamma}$  – скорость горизонтального передвижения крана;

$V_T$  – скорость передвижения тележки, м/с;

$n_k$  – скорость поворота крана, об/мин.

## Методические указания для выполнения расчетно-графической работы 3

### Рекомендуемая литература

Электропривод и электрооборудование производственных машин и механизмов. Методические указания к самостоятельной работе. для студентов направлений подготовки в области техники и технологии / Сост. Ю.Г. Шмигирилов,. – Димитровград: ДИТУД УлГТУ, 2008 г. – 58 с.

#### 1.Выбор мощности электродвигателя для механизма подъема

Исходными данными при выборе мощности электродвигателя являются: статические и динамические нагрузки, приложенные к валу электродвигателя, параметры режима работы, а также технологические особенности работы механизмов. Предлагаемая в настоящем пособии методика (методика завода «Динамо») учитывает параметры работы механизмов, энергетические свойства конкретных видов электропривода и выполняется в три этапа. На первом этапе производится предварительный выбор мощности двигателя по статической нагрузке, затем двигатель проверяется из условия соответствия теплового режима двигателя параметрам режима работы механизмов, электропривода и управляющего устройства, а на третьем этапе производится проверка двигателя по условиям обеспечения надежного пуска.

#### Предварительное определение мощности двигателя

Выбор мощности двигателя для механизма подъема может выполняться из условия:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{ст}}/k_{\text{т}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{ст}}$  – статическая мощность на валу электродвигателя подъемной лебедки при подъеме груза

$$P_{\text{ст}} = \frac{g(Q + q)V_{\text{н}}}{10^3 m_{\text{н}} \eta}, \quad \text{кВт}, \quad (2)$$

где  $Q$  — масса поднимаемого груза, кг;

$q$  — масса крюковой подвески, захвата, спредера, грейфера или грузоподъемного магнита, кг ;

$$q = 0,03Q$$

$g = 9,81$  – ускорение свободного падения кг/м<sup>2</sup> ;

$V_{\text{н}}$  — номинальная скорость подъема груза, м/с;

$\eta$  — КПД канатной системы и механизма при подъеме номинального груза (принять  $\eta = 0,83 \dots 0,87$ );

$m_{\text{н}}$  — коэффициент числа механизмов, поднимающих груз (принимается  $m_{\text{н}}=1$ ).

$k_{\text{т}}$  – коэффициент, учитывающий режим работы механизма, вид управляющего устройства и электропривода (табл. 1.5).

Коэффициенты для выбора двигателя (из табл. 1.5).

Вид электропривода	$\eta_0$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{т}}$ Для режимов			
			Л	С	Т	ВТ
с фазным ротором при торможении противовключением	0,76	1,25	1,45	1,20	0,95	0,75

$P_{ном}$  – номинальная мощность двигателя выбирается по каталогу (справочнику)

Выписать технические характеристики двигателя из электротехнического справочник

### Проверка выбранного двигателя из условия соответствия теплового режима двигателя конкретным режимам работы механизма.

Проверка выбранного двигателя на втором этапе производится или с помощью нагрузочной диаграммы  $M(t)$  или по универсальной методике завода «Динамо» в соответствии с формулой для определения (уточнения) номинальной мощности двигателя:

$$P_{ном} \geq \frac{\eta_0 k_n k_\varepsilon \sqrt{ПВ_M / ПВ_D}}{k_0 k_p [\eta_0 - k_D (\eta_0 - \eta_\varepsilon)]} P_{ст} \quad (3)$$

Здесь:

$\eta_0$  – базовый КПД (см. в табл. 1.5);

$\eta_\varepsilon$  – эквивалентный КПД, зависящий от вида электропривода и определяемый по кривым  $\eta_\varepsilon = f[n_{вк} J_\Sigma / (1, 2J_d)]$  (рис. 2.1) для приведенного числа включений в час  $n'_{вк}$ , которое находится по формуле

$$n'_{вк} = n_{вк} J_\Sigma / (1, 2J_d) \quad (4)$$

где  $n_{вк}$  – число включений механизма в час (см. табл. 1.3);

$J_\Sigma$  – суммарный момент инерции двигателя и механизма,  $кг \cdot м^2$ ;

$$J_\Sigma = J_{дв} + (Q + q) \left( \frac{V_{II}}{\Omega_{ном}} \right)^2$$

$J_d$  – момент инерции двигателя (см. приложение 2)

$k_n$  – коэффициент, учитывающий изменение потерь холостого хода. Для электродвигателей переменного тока значение  $k_n = 1$ ; для двигателей постоянного тока  $k_n \approx 1,05$ .

$k_\varepsilon$  – коэффициент, учитывающий степень загрузки электродвигателя (табл. 1.6);

$ПВ_d$ ,  $ПВ_M$  – относительные продолжительности включения, соответственно, двигателя, выбираемого по каталогу, и механизма ( $ПВ_d = 40\%$ ;  $ПВ_M = \varepsilon_M \cdot 100\%$ )

$k_0$  – коэффициент, характеризующий изменение потерь холостого хода в зависимости от  $ПВ_d$  - находится по кривым рис. 1.2. Так как продолжительность включения двигателя  $ПВ_d = 40\%$ , то  $k_0 = 1$ ;

$k_p$  – коэффициент, учитывающий увеличение потерь на регулировочных характеристиках для систем с параметрическим управлением:

$k_p = 1 - 1,2 (\varepsilon_p - 0,05)$  ( $\varepsilon_p$  см. в табл. 1.6);

$k_D$  – коэффициент, учитывающий влияние динамических потерь энергии на нагрев двигателя (см. табл. 1.5).

Таблица 1.3 Режимы работы электрооборудования

Режим работы	Число включений в час $n_{вк}$
Легкий (Л)	60
Средний (С)	120
Тяжелый (Т)	240
Весьма тяжелый (ВТ)	300– 600

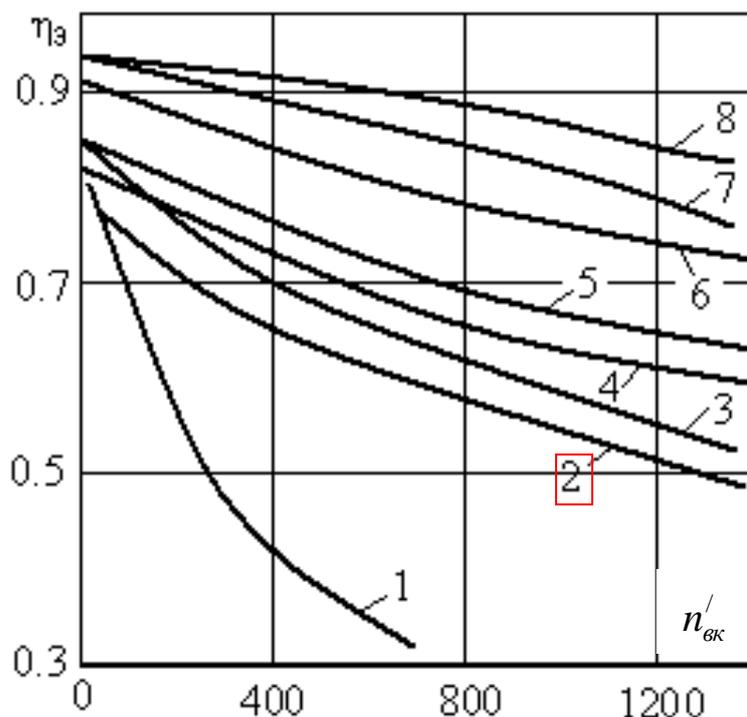


Рис. 1.1. Зависимости  $\eta_3 = f[n'_{6к} J_{\Sigma} / (1, 2J_d)]$  для различных электроприводов:

- 1 – с двухскоростными короткозамкнутыми двигателями при  $2p=4/24$ ;
- 2 – с параметрическим регулированием двигателей с фазным ротором при торможении противовключением;
- 3 – с трехскоростными короткозамкнутыми двигателями при  $2p=4/8/24$ ;
- 4 – с параметрическим регулированием двигателей с фазным ротором с динамическим торможением и двигателей постоянного тока, а также с односкоростными короткозамкнутыми двигателями при  $2p=6$ ;
- 5 – с трехскоростными короткозамкнутыми двигателями при  $2p=6/12/24$ ;
- 6 – с регулированием двухскоростных короткозамкнутых двигателей при наличии зоны частотного регулирования для  $2p=4/6$ ;
- 7 – с тиристорными электроприводами постоянного тока;
- 8 – с частотным регулированием односкоростными короткозамкнутыми двигателями

Расчетные коэффициенты для выбора мощности двигателя

Таблица 1.6

Расчетный коэффициент	Режим работы			
	Л	С	Т	ВТ
ПВ, %	25	40	40	60
$k_3$	0,6	0,77	0,79	1,05
$\epsilon_p$	0,05	0,075	0,1	0,125

После проверки на выполнение условий формулы (3):

если условие выполняется, то на этом выбор двигателя считается законченным;  
если не выполняется, то берется двигатель с большей мощностью из условия (3).

#### Типовая схема электропривода с асинхронным двигателем с фазным ротором

На рис. 1.2 приведена упрощенная схема электропривода на основе асинхронного двигателя с фазным ротором. Она включает в себя асинхронный двигатель с фазным ротором ( $M$ ), пуско-регулирующий реостат ( $R_{C1}, R_{C2}, R_{C3}$ ), силовые коммутирующие устройства: контакторы  $KM1, KM2, KM3, KM4$  и силовой выключатель  $Q$  (рубильник); предохранители с плавкой вставкой ( $FU1$  и  $FU2$ ), кнопки «Пуск»  $SB1$ , «Стоп»  $SB2$ , реле времени  $KT1, KT2, KT3$ . Схема предна-

значена для пуска двигателя с изменением сопротивления в цепи обмотки ротора в функции времени.

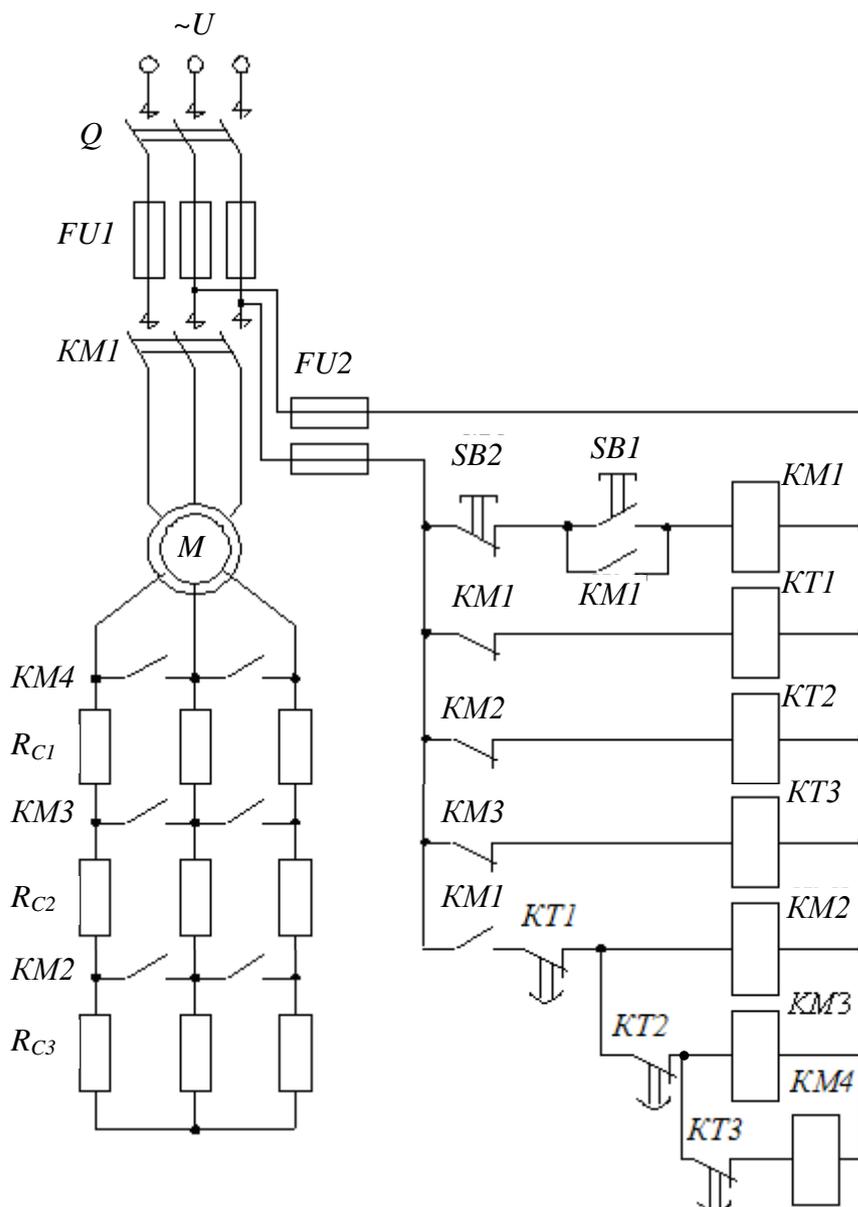


Рис. 1.2.

Пуск двигателя осуществляется подключением обмотки статора к сети с предварительно введенными в цепь обмотки ротора добавочными резисторами ( $R_{C1}$ ,  $R_{C2}$ ,  $R_{C3}$ ), образующих пусковой реостат. Введение резисторов в цепь обмотки ротора позволяют ограничить пусковой ток и увеличить пусковой момент. По мере разгона двигателя сопротивление пускового реостата уменьшается, а по окончании пуска, резисторы полностью шунтируются, т.е. обмотка ротора замыкается накоротко.

В данной схеме применены реле времени  $KT1$ ,  $KT2$ ,  $KT3$ , имеющие свои контакты  $KT1$ ,  $KT2$ ,  $KT3$  в цепях силовых контакторов  $KM2$ ,  $KM3$  и  $KM4$ . Контакты  $KT1$ ,  $KT2$ ,  $KT3$  работают на замыкание после потери питания катушек соответствующих реле с соответствующей задержкой по времени.

При замыкании рубильника  $Q$  напряжение подается на катушки реле времени  $KT1$ ,  $KT2$ ,  $KT3$  через замкнутые контакты  $KM1$ ,  $KM2$ ,  $KM3$ . Реле срабатывают и контакты реле  $KT1$ ,  $KT2$ ,  $KT3$  оказываются разомкнутыми. После нажатия кнопки «Пуск»  $SB1$  получает питание катушка контактора  $KM1$ , в результате его срабатывания:

- подается напряжение на обмотку статора двигателя;
- блокируется кнопка  $SB1$ ;
- теряет питание катушка реле времени  $KT1$ .

Начинается отсчет времени пуска со всеми пусковыми резисторами. Двигатель в этом режиме, имея высокий пусковой момент (см. рис. 1.3: точка «а» на искусственной механической характеристике), набирает обороты. При этом с увеличением частоты вращения уменьшается момент. После выдержки времени, когда режим работы характеризуется точкой «b» на пусковой диаграмме ( ), замыкается контакт  $KT1$  в цепи питания катушки контактора  $KM2$ , силовой контактор  $KM2$  срабатывает, что приводит к шунтированию  $R_{C3}$  (выводу его из цепи ротора) и к потере питания реле времени  $KT2$ . В этом режиме двигатель переходит к режиму работы с новой искусственной механической характеристикой  $M(n)$  (точка «с», рис. 1.3).

По окончании установленной выдержки времени режим работы двигателя характеризуется точкой «d» на диаграмме. В этот момент замыкается контакт реле  $KT2$  в цепи питания силового контактора  $KM3$ , который срабатывает и шунтирует резистор  $R_{C2}$ , а также размыкает цепь питания реле времени  $KT3$ . Уменьшение сопротивления пускового реостата в цепи обмотки ротора приводит к изменению момента (точка «e», рис. 2.3) и механической характеристики двигателя.

По истечению времени задержки (точка «f», рис. 2.3) реле  $KT3$  замыкает цепь питания силового контактора  $KM4$ . В результате его срабатывания резисторы полностью шунтируются, и обмотка ротора замыкается накоротко. Двигатель переходит на естественную механическую характеристику (точка «g», рис. 2.3). Установившийся режим его работы определяется нагрузкой на валу двигателя.

Остановка двигателя осуществляется нажатием кнопки «Стоп»  $SB2$ , что ведет к размыканию цепи питания катушки контактора  $KM1$  и последующему размыканию силовых контактов в цепи питания обмотки статора двигателя.

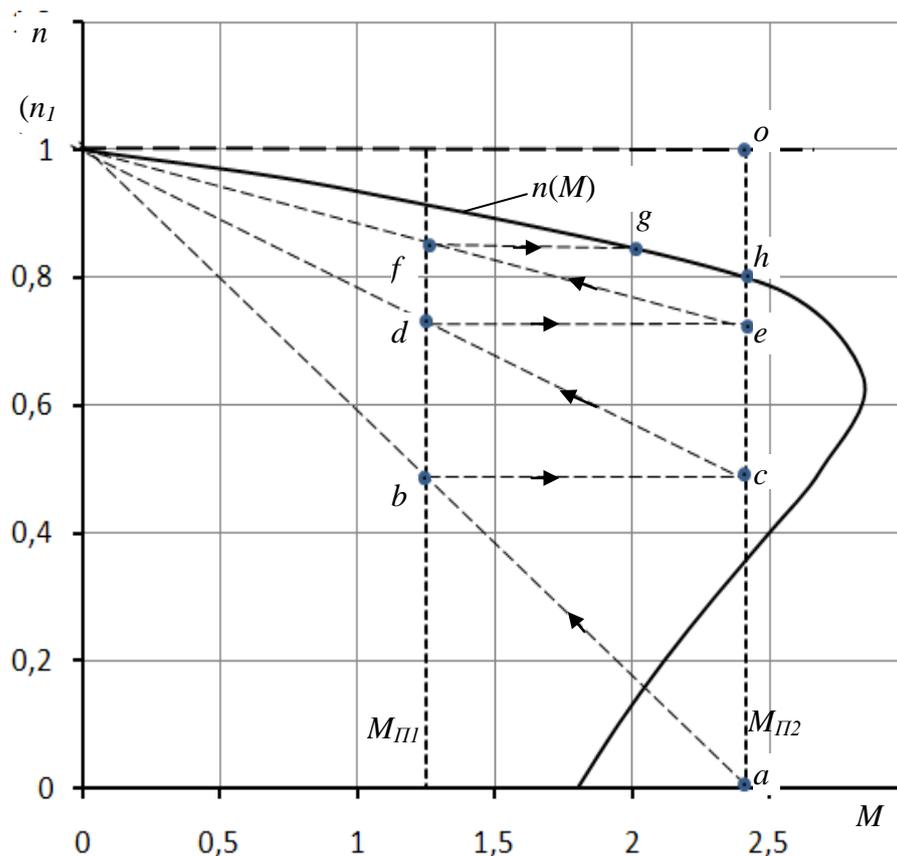


Рис. 1.3

#### Расчет пуско-регулирующих резисторов.

Для расчета пуско-регулирующих резисторов строим пусковую диаграмму  $n(M)$ , состоящую из естественной механической характеристики и искусственных характеристик. Для построения естественной механической характеристики  $n(M)$ , по данным из приложения 2 определяется:

номинальный момент:

$$M_{ном} = \frac{9,55P_{ном}}{n_{ном}};$$

критическое скольжение:

$$s_K = s_{ном}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}),$$

где

$$\lambda = M_{max}/M_{ном}; \quad s_{ном} = \frac{n_1 - n_{ном}}{n_1}; \quad n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

$f_1=50$  Гц – частота питающего напряжения;

$p$  – число пар полюсов ( в приложении 2 последняя цифра в обозначении типа двигателя указывает число полюсов, т.е.  $2p$ )

Рассчитывается механическая характеристика двигателя  $n(M)$  по формуле Клосса:

$$M = \frac{2M_{max}}{s/s_K + s_K/s}$$

Таблица 2.7

$s$	0	$(s_{ном})$	$\frac{s_{ном} + s_K}{2}$	$(s_K)$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
$n$ , об/мин										
$M$ , Нм										

Строится естественная механическая характеристика двигателя  $n(M)$  (рис. 2.3). Изображаются вертикальные линии пусковых моментов

$$M_{П1}=(1,15 \dots 1,25)M_{ном}; \quad M_{П2}=(0,85 \dots 0,95)M_{max}.$$

Проводятся прямые идеализированные линии механических характеристик  $n1-a$ ,  $n1-c$ ,  $n1-e$ . Количество таких линий зависит от количества ступеней. Количество ступеней определяется в процессе построения диаграммы, пока горизонтальная линия соответствующая переключениям не выведет на естественную механическую характеристику (это линия  $f-g$ , на рис.1.3.).

Определяется сопротивление обмотки ротора

$$R_2 = \frac{U_2 s_{ном}}{\sqrt{3}I_2},$$

где  $U_2$ ,  $I_2$  – напряжение и ток обмотки ротора (см. табл. приложения 2).

Определяется добавочные сопротивления пуско-регулирующего реостата:

$$R_{Д1} = R_2 \left( \frac{oe}{oh} - 1 \right); \quad R_{Д2} = R_2 \left( \frac{oc}{oh} - 1 \right); \quad R_{Д3} = R_2 \left( \frac{oa}{oh} - 1 \right).$$

Определяем сопротивление ступеней реостата

$$R_{C1} = R_{Д1}; \quad R_{C2} = R_{Д2} - R_{Д1}; \quad R_{C3} = R_{Д3} - R_{Д2}$$