

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

**М. В. Хомякова**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся в магистратуре по направлению подготовки  
15.04.01 Машиностроение

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2023

УДК 621

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания  
ФГБОУ ВО «КГТУ» М. Н. Альшевская

Хомякова, М. В.

Современные технологии электротехнического машиностроения: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студ. магистратуры по напр. подгот. 15.04.01 Машиностроение / М. В. Хомякова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 23 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Современные технологии электротехнического машиностроения» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекций по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля и материалы по подготовке к практическим занятиям.

Табл. 3, список лит. – 6 наименований

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 30 марта 2023 г., протокол № 6

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией института агроинженерии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 мая 2023 г., протокол № 5

УДК 621

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2023 г.  
© Хомякова М. В., 2023 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	14
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	18
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	19

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Современные технологии электротехнического машиностроения» формирует у обучающихся способность применять методы повышения надежности и долговечности изделий машиностроения, обеспечивать автоматизированный контроль параметров продукции, разрабатывать технологические процессы восстановления и повышения износостойкости изделий.

Целью и задачей освоения дисциплины «Современные технологии электротехнического машиностроения» является формирование знаний по поведению материалов при воздействии на них различных эксплуатационных факторов и возможным отказам или отклонениям в нормальной работе электротехнических устройств и приборов. Освоение дисциплины направлено на углубление теоретических и практических знаний, которые находятся на передовом рубеже науки и техники в области профессиональной деятельности, а также разработка технологических процессов восстановления и повышения износостойкости изделий.

Дисциплина «Современные технологии электротехнического машиностроения» относится к модулю «ООО «Завод Калининград-газавтоматика»» ОПОП ВО по направлению подготовки 15.04.01 Машиностроение.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

знать: методы анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов;

уметь: устанавливать требования к точности изготовления деталей и сборочных единиц; использовать компьютерные программы для расчета и проектирования узлов и деталей машин;

владеть: фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач, связанных с механическими явлениями; навыками оформления проектной и конструкторской документации.

Знания, умения и навыки, полученные при освоении данной дисциплины, используются в дальнейшей профессиональной деятельности.

При реализации дисциплины «Современные технологии электротехнического машиностроения» организуется практическая подготовка путем проведения практических занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Для успешного освоения дисциплины «Современные технологии электротехнического машиностроения», студент должен активно работать на

лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства поэтапного формирования результатов освоения;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) относятся:

- задания и контрольные вопросы по практическим занятиям.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена.

К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины.

Универсальная система оценивания результатов обучения включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему.

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
<b>1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов</b>	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно- корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
<b>2. Работа с информацией</b>	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
<b>3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта</b>	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него	В состоянии осуществлять научно корректный анализ	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный

Система оценок  Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	предоставленной информации	анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задаче данные	анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
<b>4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач</b>	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

При необходимости для обучающихся-инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Современные технологии электротехнического машиностроения» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, практические задания и даны рекомендации к организации самостоятельной работы студентов.

## **1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Осваивая курс «Современные технологии электротехнического машиностроения», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом, укладывать новую

информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливая их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции и практические занятия.

При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в университете.

Вместе с тем всякий лекционный курс является в определенной мере авторским, представляет собой творческую переработку материала и неизбежно отражает личную точку зрения лектора на предмет и методы его преподавания. В этой связи представляется целесообразным привести некоторые общие методические рекомендации по построению лекционного курса и формам его преподавания.

Лекции составляют основу теоретической подготовки и посвящены технологии электротехнического машиностроения. При проведении лекций необходимо использовать технические средства обучения, ЭИОС, применять методы, способствующие активизации познавательной деятельности слушателей. На лекциях целесообразно теоретический материал иллюстрировать рассмотрением различных примеров и конкретных задач. Имеет смысл привлекать студентов к обсуждению как рассматриваемого вопроса в целом, так и отдельных моментов рассуждений и доказательств. Необходимо также использовать возможности проблемного изложения, дискуссии с целью активизации деятельности студентов.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа обучающихся. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов, как в отсутствие преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь студентам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Необходимо контролировать степень усвоения студентами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам.

При изучении курса предусмотрены следующие формы текущего контроля:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях.

С целью формирования мотивации и повышения интереса к предмету особое внимание при чтении курса необходимо обратить на темы, которые можно проиллюстрировать примерами из практической сферы, связывая теоретические положения с будущей профессиональной деятельностью студентов.

Тематический план лекционных занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ЛЗ

Номер темы	Содержание лекционного занятия
1	Физические основы электромеханического преобразования энергии
2	Общие вопросы устройства и работы электрических машин
3	Трансформаторы и электрические машины

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

### **Тема 1. Физические основы электромеханического преобразования энергии**

*Ключевые вопросы темы*

1. Основные физические законы электромеханического преобразования энергии.
2. Материалы, применяемые в электрических машинах.
3. Баланс энергии в электромеханических системах.
4. Запас энергии в электромеханических системах.
5. Общие уравнения сил для электромагнитных систем.
6. Уравнения электродвижущих сил.
7. Реактивные электродвигатели.
8. Двухобмоточные электромагнитные преобразователи.
9. Двухобмоточный вращающийся преобразователь.

*Ключевые понятия:* законы электромеханического преобразования энергии, баланс энергии, уравнения сил, реактивные электродвигатели, преобразователи

*Литература:* [2, с. 11–41]

### *Методические рекомендации*

В данной теме коротко сформулированы основные физические принципы и явления, сопровождающие электромеханическое преобразование энергии.

Любая электромеханическая система рассматривается как совокупность электрической, магнитной и механической частей, взаимное влияние которых определяется законами электромагнитной индукции (Фарадея) и взаимодействия (Ампера).

Электрическая часть – это электрическая цепь (токопроводы), по которой замыкаются электрические токи, описывается уравнениями Кирхгофа и величинами тока, напряжения, ЭДС, сопротивления, индуктивности.

Магнитная часть – магнитопроводы (магнитная цепь), по которым замыкаются магнитные потоки. Выполняется из ферромагнитных материалов с высокой магнитной проницаемостью и включает в себя воздушные зазоры. Свойственны поток, индукция, магнитодвижущая сила, напряженность магнитного поля, МДС (падение магнитного потенциала).

Механическая часть определяет перемещение подвижных частей под действием электромагнитных сил, описывается законами равновесия сил (моментов). Характеризуется силой, моментом, скоростью, ускорением.

Электрическая энергия, потребляемая устройством из сети, сначала преобразуется в энергию магнитного поля, часть которой может преобразовываться в механическую. Таким образом, баланс энергии: электрическая = энергия магнитного поля + механическая энергия. В процессе преобразования магнитное поле выступает в роли энергоносителя, то есть связующего звена между электрической цепью и механической частью.

Электромагнитная система характеризуется энергетическим состоянием, то есть кривыми намагничивания – начальной и конечной. При этом механическая работа, сопровождающая изменение состояния, количественно равна площади, заключенной между начальной и конечной кривыми намагничивания и графиком в переходном процессе.

Всякое электромагнитное устройство развивает силу только в том случае, если с изменением взаимного расположения элементов изменяется энергия поля. При этом сила направлена так, чтобы уменьшить энергию поля до минимума, увеличить индуктивность до максимума (магнитное сопротивление – до минимума). Говорят, система стремится выбрать зазоры.

Во вращающихся преобразователях с одной обмоткой возбуждения (реактивные двигатели) действующий на ротор электромагнитный момент стремится повернуть его так, чтобы полюса встали соосно, поток стал максимальным, а само поле – недеформированным.

В разнополярных ЭМП непрерывное преобразование энергии возможно только на переменном токе, что и осуществляется практически в большинстве

электрических машин, в том числе и постоянного тока, где используется механический коммутатор – коллектор и щетки. Важнейшим здесь является принцип саморегулирования ЭМП: с увеличением отдаваемой механической (двигатель) или электрической (генератор) мощности растет и потребляемая электрическая или механическая. Говорят, отдача всегда соответствует потреблению с учетом потерь. В качестве регулятора (или обратной связи) выступает ЭДС вращения.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Какие физические законы лежат в основе электромеханического преобразования энергии?
2. Напишите уравнение баланса энергии для электромеханических систем.
3. Чем определяется энергия магнитного поля, плотность энергии?
4. Как зависит плотность энергии магнитного поля от магнитной проницаемости среды?
5. Напишите общее выражение индуктивности; индуктивности катушки, намотанной на ферромагнитный сердечник.
6. Напишите общее выражение силы для электромагнита: а) через МДС, магнитный поток и магнитное сопротивление; б) через магнитную индукцию в зазоре; в) через индуктивность.
7. В чём заключается формальная аналогия и принципиальное различие между электрической и магнитной цепями?
8. Почему в разнополярных ЭМП непрерывное электромеханическое преобразование энергии возможно только на переменном токе?
9. Какова роль энергии магнитного поля в процессе электромеханического преобразования?
10. Какие материалы используются в электромеханических преобразователях? По каким основным параметрам они различаются?
11. В чём заключаются принципы обратимости и саморегулирования ЭМП?
12. Классы изоляции и предельно допустимые температуры.

## **Тема 2. Общие вопросы устройства и работы электрических машин**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Общие сведения, классификация электрических машин.
2. Структура электрических машин.
4. Электромагнитный момент в электрических машинах.
5. Режимы работы электрических машин.
6. Потери энергии и коэффициент полезного действия.

7. Нагревание и охлаждение электрических машин.

8. Главные размеры и основные нагрузки электрических машин.

*Ключевые понятия:* структура ЭМ, электромагнитный момент, режимы работы электрических машин, потери энергии, КПД, Нагревание и охлаждение ЭМ, главные размеры, основные нагрузки ЭМ

*Литература:* [2, с. 44–67]

#### *Методические рекомендации*

По роду потребляемого из сети (двигатель) или вырабатываемого (генератор) тока электрические машины делятся на две группы: а) машины постоянного тока; б) машины переменного тока (синхронные и асинхронные).

Электрические машины по структуре представляют собой системы токо- и магнитопроводов. Токопроводы – это обмотки возбуждения и якорные, которые могут располагаться как на вращающейся части (роторе), так и на неподвижной (статоре). Обмотки возбуждения создают основной магнитный поток в зазоре, имеют в установившемся режиме постоянное потокосцепление и не участвуют в обмене энергией.

Потокосцепление якорных обмоток изменяется во времени, они передают или потребляют электроэнергию из сети. Магнитопроводы образуют магнитную цепь, по которой замыкается основной магнитный поток, включают в себя ферромагнитные (стальные) элементы и воздушный зазор.

Электромагнитный момент электрической машины является результатом взаимодействия вращающихся магнитных полей в зазоре, созданных обмотками возбуждения и якорной. Величина момента определяется скоростью изменения энергии магнитного поля по угловой координате и может быть выражена через электрические параметры – токи обмоток и взаимную индуктивность, характеристики магнитного поля в зазоре – индукцию, напряженность, магнитный поток и намагничивающие силы.

Величина электромагнитного момента зависит от нагрузок – индукции в зазоре и токовой линейной нагрузки якоря и активного объема машины, является результатом взаимодействия магнитных полюсов на поверхностях статора и ротора.

Фундаментальным и необходимым условием создания постоянного по величине момента в установившемся режиме является равенство скоростей вращения магнитных полей статора и ротора, сдвинутых в пространстве на некоторый угол – угол момента. В машинах постоянного тока этот угол равен  $90^\circ$ , в синхронных  $20\text{--}30^\circ$ , в асинхронных зависит от скольжения. При этом момент пропорционален, действует в таком направлении, чтобы уменьшить угол, сократить путь магнитного потока, привести полюса в соосное положение.

4. Процессы преобразования энергии сопровождаются потерями – механическими, магнитными и электрическими, которые нагревают все элементы машины. Самым слабым звеном в конструкции в тепловом отношении является изоляция обмоток, поэтому нагрузка электрических машин ограничена предельной допустимой температурой для конкретного класса изоляции.

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Назовите основные элементы конструкции электрических машин. Их назначение?
2. Перечислите материалы, из которых изготавливают эти основные элементы.
3. Какова природа электромагнитного момента в электрических машинах?
4. Потери в электрических машинах: в каких элементах и от каких параметров они зависят?
5. Постоянная времени нагрева. Физический смысл.
6. КПД электрических машин, значения.
7. Что является нагрузкой двигателя? генератора?
8. Понятия потребляемой, электромагнитной и полезной мощностей для двигателя.
9. Основные (главные) размеры ЭМ. Что они определяют?
10. Электромагнитные нагрузки ЭМ.
11. Чем ограничена мощность ЭМ?
12. Угол момента. Что это? Значения для синхронных, асинхронных машин и машин постоянного тока.
13. Типы обмоток электрических машин: назначение, на каких элементах конструкции они расположены и каковы их функции?

### **Тема 3. Трансформаторы и электрические машины**

#### *Ключевые вопросы темы*

1. Трансформаторы.
2. Общие вопросы машин переменного тока.
3. Асинхронные машины.
4. Синхронные машины.
5. Коллекторные машины постоянного тока.
6. Специальные электрические машины.

*Ключевые понятия:* трансформаторы, машины переменного тока, асинхронные машины, синхронные машины, коллекторные машины постоянного тока, специальные электрические машины

*Литература:* [2, с. 71–278]

### *Методические рекомендации*

В данной теме будут рассмотрены общие сведения о трансформаторах и принцип их действия. Также будут рассмотрено устройство трансформаторов, схемы и группы соединения обмоток, холостой ход двухобмоточного трансформатора. Будет уделено внимание короткому замыканию трансформатора, физические условия работы, уравнения напряжений трансформатора при коротком замыкании, приведенный трансформатор, параметры и потери короткого замыкания. Необходимо будет изучить работу трансформатора под нагрузкой, КПД трансформатора, изменение напряжения трансформатора, параллельную работу трансформаторов, регулирование напряжения, несимметричные режимы работы трехфазных трансформаторов и специальные типы трансформаторов.

Особое внимание необходимо уделить общим вопросам машин переменного тока, а именно рассмотреть: типы машин переменного тока, основные понятия и термины, ЭДС проводника, витка (секции), катушечной группы, фазы обмотки, типы якорных обмоток, магнитодвижущие силы обмоток машин переменного тока, магнитные поля обмоток переменного тока.

Будут изучены конструктивные особенности асинхронных машин, соотношения для вторичной цепи асинхронного двигателя, схема замещения асинхронной машины и её параметры, механические характеристики асинхронных машин, пуск асинхронных двигателей, регулирование скорости асинхронных двигателей, регулирование скорости изменением жёсткости характеристик, регулирование изменением скорости идеального холостого хода, особенности работы асинхронного двигателя при питании от преобразователя частоты, работа асинхронных двигателей при ненормальных условиях, несимметричные режимы работы асинхронных двигателей и однофазные асинхронные двигатели

В данной теме также будут рассмотрены общие сведения о синхронных машинах, магнитное поле синхронной машины, ЭДС реакции якоря и индуктивные сопротивления синхронных машин, переходные процессы в синхронных машинах, векторные диаграммы синхронных генераторов при симметричной нагрузке, характеристики синхронных генераторов, параллельная работа синхронных машин, электромагнитная мощность и момент синхронной машины, угловая характеристика, U-образные характеристики синхронной машины, регулирование реактивной мощности, синхронный двигатель и компенсатор.

Изучить коллекторные машины постоянного тока, их принцип действия, устройство, функциональные особенности. Рассмотреть магнитные поля

индуктора и якоря и их взаимодействие, магнитную цепь машины при холостом ходе, магнитное поле якоря, результирующее магнитное поле, ЭДС обмотки якоря и электромагнитный момент, коммутацию, характеристики генераторов и двигателей постоянного тока, пуск двигателей постоянного тока, регулирование скорости электродвигателей постоянного тока и механические характеристики двигателей постоянного тока.

Будет уделено внимание специальным электрическим машинам. Будут рассмотрены вентильные двигатели, линейные асинхронные, и синхронные двигатели, электромагнитные и однофазные коллекторные двигатели

#### *Вопросы для самоконтроля*

1. Что является нагрузкой для трансформатора?
2. Почему потери холостого хода относят к потерям в стали?
3. Типы машин переменного тока. В чем их различие?
4. Почему асинхронные машины называют индукционными?
5. Типы асинхронных двигателей по конструктивному исполнению.
6. Что является нагрузкой для асинхронного двигателя?
7. Принцип действия синхронной машины.
8. Зависимость характеристик синхронного генератора от характера нагрузки.
9. Принцип действия машин постоянного тока. Конструктивное исполнение.
10. Назначение компенсационной обмотки.
11. Что такое вентильный двигатель?
12. Линейный асинхронный двигатель: формы исполнения.
13. Однофазные коллекторные двигатели: устройство, схема возбуждения.

## **2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ**

Практические занятия по дисциплине «Современные технологии электротехнического машиностроения» проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков в области технологии электротехнического машиностроения. Они являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к практическому занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной

преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, связанных с темой практического занятия.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Объем (трудоёмкость освоения) и структура ПЗ

Номер темы	Содержание практического (семинарского) занятия
1	Расчёт значения активных и индуктивных сопротивлений схемы замещения асинхронного двигателя (АД)
2	Расчёт значения характеристик АД для режима холостого хода
3	Расчёт значения характеристик АД для различных значений момента нагрузки
4	Расчёт значения характеристик АД, нагруженного номинальным моментом при номинальном значении частоты
5	Расчёт значения характеристик АД, нагруженного номинальным моментом для двух значений частоты изменения напряжения питания

**Практическое задание № 1** Расчёт значения активных и индуктивных сопротивлений схемы замещения асинхронного двигателя

**Цель работы:** формирование умений и навыков расчёта значений активных и индуктивных сопротивлений схемы замещения асинхронного двигателя.

**Задание для практической работы**

Для АД с короткозамкнутым или с фазным ротором, каталожные данные которого приведены в табл. 1 и 2 (Приложение А), рассчитать значения активных и индуктивных сопротивлений схемы замещения АД.

**Вопросы для самоконтроля:**

1. Приведите примерный вид рабочих характеристик асинхронного двигателя и дайте краткий анализ каждой из них.
2. Что представляют собой механические характеристики асинхронного двигателя при двигательном и тормозном режимах?

**Практическое задание № 2** Расчёт значения характеристик АД для режима холостого хода

**Цель работы:** формирование умений и навыков расчёта характеристик АД для режима холостого хода.

### **Задание для практической работы**

Для АД с короткозамкнутым или с фазным ротором, каталожные данные которого приведены в табл. 1 и 2 (Приложение А), рассчитать значения характеристик АД для режима холостого хода при номинальных значениях напряжения  $U_n$  и частоты изменения этого напряжения  $f_n$ .

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Какие вы знаете виды характеристик электродвигателей?
2. Какие характеристики называются естественными и искусственными?

**Практическое задание № 3** Расчёт значения характеристик АД для различных значений момента нагрузки

**Цель работы:** формирование умений и навыков расчёта значения характеристик АД для различных значений момента нагрузки.

#### **Задание для практической работы**

Для АД с короткозамкнутым или с фазным ротором, каталожные данные которого приведены в табл. 1 и 2 (Приложение А), рассчитать значения характеристик АД для различных значений момента нагрузки  $M$  при номинальных значениях напряжения питания  $U_n$  и частоты изменения этого напряжения  $f_n$ : мощности на валу  $P_2$ , числа оборотов вала в минуту  $n$ , КПД  $\eta$ , коэффициента мощности  $\cos \phi$ , потребляемых тока  $I_1$  и мощности  $P_1$ . По этим результатам построить рабочие характеристики АД, т.е. графики зависимостей  $M(P_2)$ ,  $n(P_2)$ ,  $P_1(P_2)$ ,  $\eta(P_2)$ ,  $\cos \phi(P_2)$ ,  $I_1(P_2)$ , а также графики механической  $n(M)$  и электромеханической  $n(I_1)$  характеристик.

#### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Объясните принцип действия асинхронного двигателя.
3. В чем сущность метода непосредственной нагрузки при испытании асинхронного двигателя?

**Практическое задание № 4** Расчёт значения характеристик АД, нагруженного номинальным моментом при номинальном значении частоты

**Цель работы:** формирование умений и навыков расчёта характеристик АД, нагруженного номинальным моментом при номинальном значении частоты.

#### **Задание для практической работы**

Для АД с короткозамкнутым или с фазным ротором, каталожные данные которого приведены в табл. 1 и 2 (Приложение А), рассчитать значения характеристик АД, нагруженного номинальным моментом  $M_n$ , для двух значений напряжения питания  $U$ , меньшего  $\alpha \cdot U_n$  и большего  $\beta \cdot U_n$ , чем номинальное значение  $U_n$ , при номинальном значении частоты  $f_n$ . Значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  указаны в табл. 3 (Приложение А).

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Что такое «кратность максимального вращающего момента асинхронного двигателя» и какова ее зависимость от напряжения питания двигателя?
2. Какие показатели определяют пусковые свойства асинхронных двигателей?

**Практическое задание № 5** Расчёт значения характеристик АД, нагруженного номинальным моментом для двух значений частоты изменения напряжения питания

**Цель работы:** формирование умений и навыков расчёта характеристик АД, нагруженного номинальным моментом для двух значений частоты изменения напряжения питания.

### **Задание для практической работы**

Для АД с короткозамкнутым или с фазным ротором, каталожные данные которого приведены в табл. 1 и табл. 2 (Приложение А), для двух значений частоты изменения напряжения питания  $f$ , меньшего  $\gamma \cdot f_n$  и большего  $\rho \cdot f_n$ , чем номинальное значение  $f_n$ , при номинальном значении напряжения  $U_n$ , рассчитать значения характеристик АД, нагруженного номинальным моментом  $M_n$ . Значения коэффициентов  $\gamma$  и  $\rho$  указаны в табл. 3 (Приложение А).

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Как производится расчет и построение естественных и искусственных характеристик асинхронных двигателей с фазным ротором?
2. Привести уравнение механической характеристики асинхронного двигателя.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Болотов, М. А. Перспективные технологии изготовления деталей двигателей и энергетических установок: учеб. пособие / М. А. Болотов, Р. А. Вдовин. – Самара: Самарский университет, 2020. – 108 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/188971> (дата обращения: 26.03.2023). – Текст: электронный.
2. Епифанов, А. П. Электрические машины: учебник / А. П. Епифанов, Г. А. Епифанов. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 300 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/209984> (дата обращения: 26.03.2023). – ISBN 978-5-8114-2637-9. – Текст: электронный.
3. Зубова, Р. А. Испытание электрических машин: лабораторный практикум: учебное пособие / Р. А. Зубова. – Красноярск: КрасГАУ, 2016. – 91 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/187078> (дата обращения: 26.03.2023). – Текст: электронный.
4. Проектирование электрических машин: учеб. / И. П. Копылов [и др.]; под ред. И. П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2016. – 767 с. – Текст: непосредственный. 1
5. Серкова, Л. Е. Расчет асинхронного двигателя: учеб. пособие / Л. Е. Серкова, Д. И. Попов, Ю. В. Москалев. – Омск: ОмГУПС, 2021. – 93 с. – Режим доступа: для авториз. пользователей. – Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/190235> (дата обращения: 26.03.2023). – Текст: электронный.
6. Черепахин, А. А. Технологические процессы в машиностроении / А. А. Черепахин, В. А. Кузнецов. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 184 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/291206> (дата обращения: 06.07.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица П.А.1

№ вар.	Тип двигателя	Мощность, кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{II}}{M_H}$	$\frac{M_m}{M_H}$	$\frac{M_{min}}{M_H}$	$\frac{I_{II}}{I_H}$
			скольже- ние, %	КПД, %	cosφ				
Синхронная частота вращения 3000 об/мин									
1	АИР71А2	0,75	6	78,5	0,83	2,1	2,2	1,6	6
2	АИР71В2	1,1	6,5	79	0,83	2,1	2,2	1,6	6
3	АИР80А2	1,5	5	81	0,85	2,1	2,2	1,6	7
4	АИР80В2	2,2	5	83	0,87	2	2,2	1,6	7
5	АИР90L2	3	5	84,5	0,87	2	2,2	1,6	7
6	АИР100S2	4	5	87	0,88	2	2,2	1,6	7,5
7	АИР100L2	5,5	5	88	0,89	2	2,2	1,6	7,5
8	АИР112M2	7,5	3,5	87,5	0,88	2	2,2	1,6	7,5
	АИРХ112M2			87,5	0,88	2	2,2	1,6	7,5
9	АИР132M2	11	3	88	0,89	1,6	2,2	1,2	7,5
	АИРХ132M2			88	0,89	1,6	2,2	1,2	7,5
10	АИР160S2	15	3	89	0,88	1,8	2,7	1,7	7
	АИРХ160S2			89	0,88	1,8	2,7	1,7	7
11	АИР160M2	18,5	3	89,5	0,9	1,8	2,7	1,7	7
	АИРХ160M2			89,5	0,9	1,8	2,7	1,7	7
12	АИР180S2	22	2,7	89,5	0,88	1,7	2,7	1,6	7
13	АИР180M2	30	2,5	90,5	0,88	1,7	2,7	1,6	7,5
Синхронная частота вращения 1500 об/мин									
14	АИР71А4	0,55	9,5	70,5	0,7	2,3	2,2	1,8	5
15	АИР71В4	0,75	10	73	0,73	2,2	2,2	1,6	5
16	АИР80А4	1,1	7	75	0,81	2,2	2,2	1,6	5,5
17	АИР80В4	1,5	7	78	0,83	2,2	2,2	1,6	5,5
18	АИР90L4	2,2	7	81	0,83	2,10	2,2	1,6	6,5
19	АИР100S4	3	6	82	0,83	2	2,2	1,6	7
20	АИР100L4	4	6	85	0,84	2	2,2	1,6	7

Продолжение табл. П.А.1

№ вар.	Тип двигателя	Мощность, кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{\Pi}}{M_{H}}$	$\frac{M_{m}}{M_{H}}$	$\frac{M_{\min}}{M_{H}}$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{H}}$
			скольже- ние, %	КПД, %	cosφ				
21	АИР112М4	5,5	4,5	87,5	0,88	2	2,2	1,6	7
	АИРХ112М4		4,5	87,5	0,88	2	2,2	1,6	7
22	АИР132S4	7,5	4	87,5	0,86	2	2,2	1,6	7,5
	АИРХ132S4		4	87,5	0,86	2	2,2	1,6	7,5
23	АИР132М4	11	3,5	87,5	0,87	2	2,2	1,6	7,5
	АИРХ132М4		3,5	87,5	0,87	2	2,2	1,6	7,5
24	АИР160S4	15	3	89,5	0,89	1,9	2,9	1,8	7
	АИРХ160S4		3	89,5	0,89	1,9	2,9	1,8	7
25	АИР160М4	18,5	3	90	0,89	1,9	2,9	1,8	7
	АИРХ160М4		3	90	0,89	1,9	2,9	1,8	7
26	АИР180S4	22	2,5	90	0,87	1,5	2,4	1,3	6,5
27	АИР180М4	30	2	91,5	0,86	1,7	2,7	1,6	7
Синхронная частота вращения 1000 об/мин									
28	АИР71А6	0,37	8,5	65	0,66	2	2,2	1,6	4,5
29	АИР71В6	0,55	8,5	68,5	0,7	2	2,2	1,6	4,5
30	АИР80А6	0,75	8	70	0,72	2	2,2	1,6	4,5
31	АИР80В6	1,1	8	74	0,74	2	2,2	1,6	4,5
32	АИР90L6	1,5	7,5	76	0,72	2	2,2	1,6	6
33	АИР100L6	2,2	5,5	81	0,74	2	2,2	1,6	6
34	АИР112МА6	3	5	81	0,76	2	2,2	1,6	6
	АИРХ112МА6	3	5	81	0,76	2	2,2	1,6	6
35	АИР112МВ6	4	5	82	0,81	2	2,2	1,6	6
	АИРХ112МВ6	4	5	82	0,81	2	2,2	1,6	6
36	АИР132S6	5,5	4	85	0,8	2	2,2	1,6	7
	АИРХ132S6	5,5	4	85	0,8	2	2,2	1,6	7
37	АИР132М6	7,5	4	85	0,81	2	2,2	1,6	7
	АИРХ132М6	7,5	4	85	0,81	2	2,2	1,6	7
38	АИР160S6	11	3	87	0,84	1,7	2,5	1,6	6,5
	АИРХ160S6	11	3	87	0,84	1,7	2,5	1,6	6,5

Окончание табл. П.А.1

№ вар.	Тип двигателя	Мощность, кВт	При номинальной нагрузке			$\frac{M_{\Pi}}{M_{H}}$	$\frac{M_{m}}{M_{H}}$	$\frac{M_{\min}}{M_{H}}$	$\frac{I_{\Pi}}{I_{H}}$
			Скольжение, %	КПД, %	cosφ				
39	АИР160М6	15	3	88	0,85	1,7	2,6	1,6	6,5
	АИРХ160М6	15	3	88	0,85	1,7	2,6	1,6	6,5
40	АИР180М6	18,5	2	88	0,85	1,6	2,4	1,5	6,5
Синхронная частота вращения 750 об/мин									
41	АИР132S8	4	4,5	83	0,7	1,8	2,2	1,4	6
	АИРХ132S8		4,5	83	0,7	1,8	2,2	1,4	6
42	АИР132М8	5,5	5	83	0,74	1,8	2,2	1,4	6
	АИРХ132М8		5	83	0,74	1,8	2,2	1,4	6
43	АИР160S8	7,5	3	87	0,75	1,6	2,4	1,4	5,5
	АИРХ160S8		3	87	0,75	1,6	2,4	1,4	5,5
44	АИР160М8	11	3	87,5	0,75	1,6	2,4	1,4	6
	АИРХ160М8		3	87,5	0,75	1,6	2,4	1,4	6
45	АИР180М8	15	2,5	89	0,82	1,6	2,2	1,5	5,5

Таблица П.А.2 – Технические данные двигателей серии 4А с фазным ротором

№ Вар.	Тип двигателя	Мощность кВт	КПД %	cosφ	Скольжение, %	$\frac{M_{m}}{M_{H}}$	Ток ротора $I_{2H}$ , А	Напряжение Ротора $U_{2H}$ , В
Синхронная частота вращения 1500 об/мин ( $n_0$ )								
1	4АК160S4У3	11	86,5	0,86	5	3	22	305
2	4АК160М4У3	14	88,5	0,87	4	3,5	29	300
3	4АК180М4У3	18	89	0,88	3,5	4	38	295
4	4АК200М4У3	22	90	0,87	2,5	4	45	340
5	4АК200L4У3	30	90,5	0,87	2,5	4	55	350
6	4АК225М4У3	37	90	0,87	3,5	3	160	160
7	4АК250SA4У3	45	91	0,88	3	3	170	230
8	4АК250SB4У3	55	90,5	0,9	3	3	170	200
9	4АК250М4У3	71	91,5	0,86	2,5	3	170	250
Синхронная частота вращения 1000 об/мин								
10	4АК160S6У3	7,5	82,5	0,77	5	3,5	18	300
11	4АК160М6У3	10	84,5	0,76	4,5	3,8	20	310

№ вар.	Тип двигателя	Мощность кВт	КПД %	cosφ	Скольжение, %	$\frac{M_m}{M_H}$	Ток ротора $I_{2H}$ , А	Напряжение ротора $U_{2H}$ , В
12	4AK180M6Y3	13	85,5	0,8	4,5	4	25	325
13	4AK200M6Y3	18,5	88	0,81	3,5	3,5	35	360
14	4AK200L6Y3	22	88	0,8	3,5	3,5	45	330
15	4AK225M6Y3	30	89	0,85	3,5	2,5	150	140
16	4AK250S6Y3	37	89	0,84	3,5	2,5	165	150
17	4AK250M6Y3	45	90,5	0,87	3	2,5	160	180
Синхронная частота вращения 750 об/мин								
18	4AK160S8Y3	5,5	80	0,7	6,5	2,5	14	300
19	4AK160M8Y3	7,5	82	0,7	6	3	16	290
20	4AK180M8Y3	11	85,5	0,72	4	3,5	25	270
21	4AK200M8Y3	15	86	0,7	3,5	3	28	360
22	4AK200L8Y3	18,5	86	0,73	3,5	3	40	300
23	4AK225M8Y3	22	87	0,82	4,5	2,2	140	102
24	4AK250S8Y3	30	88,5	0,81	4	2,2	155	125
25	4AK250M8Y3	37	89	0,8	3,5	2,2	155	148
Синхронная частота вращения 1500 об/мин								
26	4АНК160S4Y3	14	86,5	0,85	5	3	27	330
27	4АНК160M4Y3	17	88	0,87	5	3,5	34	315
28	4АНК180S4Y3	22	87	0,86	5,5	3,2	43	300
29	4АНК180M4Y3	30	88	0,81	4,5	3,2	63	290
30	4АНК200M4Y3	37	90	0,88	3	3	62	360
31	4АНК200L4Y3	45	90	0,88	3,5	3	75	375
32	4АНК225M4Y3	55	89,5	0,87	4	2,5	200	170
33	4АНК250SA4Y3	75	90	0,88	4,5	2,3	250	180
34	4АНК250SB4Y3	90	91,5	0,87	4	2,5	260	220
35	4АНК250M4Y3	110	92	0,9	3,5	2,5	260	250
36	4АНК280S4Y3	132	92	0,88	2,9	2	330	251
37	4АНК280M4Y3	160	92,5	0,88	2,6	2	330	300
38	4АНК315S4Y3	200	93	0,89	2,5	2	396	312
39	4АНК315M4Y3	250	93	0,9	2,5	2	425	360
40	4АНК355S4Y3	315	93,5	0,9	2,2	2	460	420
41	4АНК355M4Y3	400	94	0,9	2	2	485	505
Синхронная частота вращения 1000 об/мин								
42	4АНК180S6Y3	13	83,5	0,81	7	3	42	205
43	4АНК180M6Y3	17	85	0,82	6	3	32,5	335
44	4АНК200M6Y3	22	88	0,81	3,5	3	37	380
45	4АНК200L6Y3	30	88,5	0,82	4	3	46	375
46	4АНК225M6Y3	37	89	0,86	4	1,9	180	140
47	4АНК250SA6Y3	45	89,5	0,86	4	2,3	200	155
48	4АНК250SB6Y3	55	91	0,88	3,5	2,5	185	190
49	4АНК250M6Y3	75	91,5	0,85	3	2,5	200	250
50	4АНК280S6Y3	90	90	0,88	3,6	1,9	277	202
51	4АНК280M6Y3	110	91,5	0,87	3,6	1,9	297	230
52	4АНК315S6Y3	132	92	0,88	3	1,9	320	257

№ вар.	Тип двигателя	Мощность кВт	КПД %	cosφ	Скольжение, %	$\frac{M_m}{M_H}$	Ток ротора $I_{2H}$ , А	Напряжение ротора $U_{2H}$ , В
53	4АНК315М6У3	160	92,5	0,88	3	1,9	352	291
54	4АНК355S6У3	200	93	0,89	2,5	1,8	411	304
55	4АНК355М6У3	250	93	0,89	2,5	1,8	401	380
Синхронная частота вращения 750 об/мин								
56	4АНК180S8У3	11	85	0,72	5	3,2	22,5	315
57	4АНК180М8У3	14	86,5	0,69	4,5	3,5	28	310
58	4АНК200М8У3	18,5	86	0,78	4,5	2,5	30	380
59	4АНК200L8У3	22	87	0,79	4,5	2,5	40	330
60	4АНК225М8У3	30	86,5	0,8	5	1,8	165	120
61	4АНК250SA8У3	37	87,5	0,8	5,5	2,2	190	115
62	4АНК250SB8У3	45	89	0,82	4	2,2	190	140
63	4АНК250М8У3	55	89,5	0,83	3,5	2,2	185	190
64	4АНК280S8У3	75	90,5	0,84	4	1,9	257	190
65	4АНК280М8У3	90	90,5	0,84	4	1,9	267	214
66	4АНК315S8У3	110	91,5	0,84	3,5	1,9	311	225
67	4АНК315М8У3	132	92	0,84	3,5	1,9	364	247
68	4АНК355S8У3	160	92,5	0,86	2,7	1,7	353	285
69	4АНК355М8У3	200	92,5	0,86	2,7	1,7	359	350

Таблица П.А.3 – Значения коэффициентов

$\alpha = U_{\min}/U_H$	$\beta = U_{\max}/U_H$	$\gamma = f_{\min}/f_H$	$\rho = f_{\max}/f_H$
0,8	1,1	0,9	1,1

Локальный электронный методический материал

Мария Вячеславовна Хомякова

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 1,8. Печ. л. 1,5

Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»,  
236022, Калининград, Советский проспект, 1