

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учебно-методическое объединение вузов Республики Беларусь
по образованию в области сельского хозяйства

Учреждение образования «Белорусский государственный
аграрный технический университет»

УТВЕРЖДЕНА
Министерством образования
Республики Беларусь
13 июля 2010 г.
Регистрационный № ТД-К. 132/тип.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Типовая учебная программа

для высших учебных заведений по специальностям:

1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям),
1-53 01 01 Автоматизация технологических процессов и производств (по направ-
лениям), направление специальности 1-53 01 01-09 Автоматизация технологических
процессов и производств (сельское хозяйство)

Минск
БГАТУ
2010

УДК 621.313

ББК 31.261

Э 45

Рекомендовано:

Кафедрой электроснабжения БГАТУ (протокол № 4 от 2 апреля 2009 г.);

Научно-методическим советом БГАТУ (протокол № 3 от 29 апреля 2009 г.);

Научно-методическим советом по инженерно-техническим специальностям Учебно-методического объединения вузов Республики Беларусь по образованию в области сельского хозяйства (протокол № 6 от 7 мая 2009 г.);

Учебно-методическим объединением вузов Республики Беларусь по образованию в области автоматизации технологических процессов, производств и управления (протокол № 40 от 10 ноября 2009 г.)

Составители:

канд. техн. наук, доц., зав. каф. электроснабжения БГАТУ *Н.Е. Шевчик*;

канд. техн. наук, доц., декан агроэнергетического факультета БГАТУ *И.В. Протосовицкий*

Рецензенты:

Кафедра электроснабжения БНТУ;

начальник электротехнического отдела Государственного учреждения «Научно-исследовательский и проектно-технологический институт хлебопродуктов» *В.И. Потаннев*

Электрические машины : типовая учеб. программа для высш. учеб. заведений по специальностям: 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям), 1-53 01 01 Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям), направление специальности 1-53 01 01-09 Автоматизация технологических процессов и производств (сельское хозяйство) / сост. Н.Е. Шевчик, И.В. Протосовицкий.– Минск : БГАТУ, 2010. – 14 с.

УДК 621.313

ББК 31.261

© БГАТУ, 2010

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Типовая учебная программа по дисциплине «Электрические машины» разработана в соответствии с образовательными стандартами по специальностям 1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям) и 1-53 01 01 Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям), направление специальности 1-53 01 01-09 Автоматизация технологических процессов и производств (сельское хозяйство).

Квалификационной характеристикой специалиста предусмотрена сфера профессиональной деятельности, включающая эксплуатацию элементов и систем энергообеспечения сельского хозяйства, содержащих электрические машины.

В числе задач профессиональной деятельности, в которых должен быть компетентен выпускник вуза – проектирование энергетических объектов и установок сельскохозяйственного назначения, монтаж, наладка, испытание, ремонт и техническое обслуживание энергетического оборудования, разработка и освоение нового энергооборудования, обучение и повышение квалификации персонала.

Цель дисциплины – формирование у студентов знаний и практических навыков по обеспечению эффективной и безопасной работы электрических машин в условиях сельскохозяйственного производства.

Задачи дисциплины: изучение устройства, принципов работы и теории электрических машин; определение областей эффективного использования различных электрических машин в сельскохозяйственном производстве.

Подготовка специалиста в рамках дисциплины «Электрические машины» должна обеспечить формирование следующих групп компетенций:

академические:

- владение базовыми теоретическими знаниями по дисциплине и умение применять их на практике;
- владение современными методами поиска, обработки и использования информации в предметной области;
- способность проявлять творчество в профессиональной деятельности;

профессиональные:

- способность осуществлять эффективное использование и техническое обслуживание электрических машин,

социально-личностные:

- способность к социальному взаимодействию; к межличностным коммуникациям; умение работать в команде.

В результате изучения дисциплины «Электрические машины» студент должен **знать:**

- принципы работы электрических машин различного типа и трансформаторов;
- устройство электрических машин и трансформаторов;
- основы теории электрических машин;
- схемы соединения обмоток электрических машин и трансформаторов;

уметь:

- использовать методы выбора параметров электрических машин и трансформаторов;
- проводить экспериментальные исследования характеристик электрических машин и трансформаторов;
- использовать рациональные режимы работы электрических машин и трансформаторов.

Для успешного освоения дисциплины «Электрические машины» необходимо знание естественнонаучных дисциплин («Математика», «Физика»); общепрофессиональных дисциплин («Теоретические основы электротехники», «Автоматика и электроника»):

«Математика»: *знать* основные понятия и методы математического анализа; дифференциальное и интегральное исчисление, статистические методы обработки экспериментальных данных; *уметь* составлять математические модели электрических машин и решать их с применением вычислительной техники;

«Физика»: *знать* основные понятия, законы электричества и магнетизма; *уметь* использовать основные законы физики в инженерной деятельности;

«Теоретические основы электротехники»: *знать* методы расчета электрических цепей; *уметь* использовать методы расчета и анализа электрических цепей, составлять и анализировать схемы замещения электротехнических устройств и систем;

«Автоматика и электроника»: *знать* назначение электронных приборов; общее устройство и основные характеристики технических средств автоматики; *уметь* читать структурные и принципиальные электрические схемы.

На изучение дисциплины согласно типовым учебным планам отводится всего 248 часов: из них 118 – аудиторных занятий, в том числе лекций – 68 часов, лабораторных занятий – 50 часов.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование разделов	Количество аудиторных часов		
		Всего	лекции	лабораторные
1	2	3	4	5
1	Общие сведения об электрических машинах	2	2	
2	Машины постоянного тока	30	18	12
3	Общие сведения о машинах переменного тока	4	4	
4	Синхронные машины	26	12	12
5	Асинхронные машины	30	18	14
6	Трансформаторы	26	14	12
ИТОГО		118	68	50

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Основные понятия и определения. Классификация электрических машин. Краткие сведения по истории развития электромашиностроения. Закон электромагнитной индукции, используемый в курсе электрических машин. Номинальные данные и режимы работы; особенности конструкции, определяемые условиями эксплуатации электрических машин.

2 МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Основные элементы устройства и принцип действия машин постоянного тока.

Обмотки якоря машин постоянного тока. Основы расчета и принципы построения простых петлевых и волновых обмоток. Сложные обмотки и уравнительные соединения. Электродвижущая сила (ЭДС), индуцируемая в обмотке якоря машины постоянного тока. Электромагнитный момент, развиваемый якорем машины постоянного тока. Способы возбуждения машин постоянного тока.

Магнитное поле машины постоянного тока. Основы расчета магнитной цепи, характеристика намагничивания, коэффициент насыщения, форма кривой индукции магнитного поля под полюсом при холостом ходе. Реакция якоря при щетках, установленных на геометрическую нейтраль. Форма кривой индукции магнитного поля под полюсом при нагрузке машины. Реакция якоря при щетках, смещенных с геометрической нейтрали. Влияние реакции якоря на работу машины и ее устранение.

Коммутация в машинах постоянного тока. Причины искрения под щеткой. Оценка искрения. Сущность коммутационного процесса. Прямолинейная, замедленная и ускоренная коммутации. Способы улучшения коммутации.

Генераторы постоянного тока. Параметры и характеристики генераторов. Уравнения равновесия ЭДС и моментов генератора. Характеристики генераторов независимого возбуждения. Самовозбуждение генератора. Характеристики генератора параллельного возбуждения. Назначение серийной обмотки. Характеристики генератора смешанного возбуждения.

Двигатели постоянного тока. Уравнения равновесия ЭДС и моментов двигателя. Потери, энергетическая диаграмма и коэффициент полезного действия двигателя постоянного тока. Характеристики двигателей. Характеристики и область применения двигателей параллельного, последовательного и смешанного возбуждений. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока: изменением напряжения якоря, магнитного потока, резистора в цепи якоря. Скоростные характеристики при различных способах регулирования. Сравнение способов регулирования. Пуск двигателей постоянного тока: прямое включение, от вспомогательного преобразователя и с помощью пускового реостата. Устойчивость работы двигателей постоянного тока.

Режимы работы машин постоянного тока. Торможение двигателей постоянного тока: генераторное, динамическое, противовключением. Универсальные коллекторные двигатели. Современные серии машин постоянного тока.

Специальные машины постоянного тока: тахогенераторы, сварочные генераторы, вентильные двигатели, двигатели с печатными обмотками якоря, исполнительные двигатели. Понятие об электромашинных усилителях.

3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАШИНАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Образование вращающегося магнитного поля при двухфазной и трехфазной системах. Магнитодвижущая сила: сосредоточенной катушки, распределенной обмотки с укороченным шагом при скосе пазов. Обмоточный коэффициент. Магнитодвижущая сила трехфазной обмотки.

Электродвижущая сила обмоток.

Обмотки машин переменного тока. Классификация и выбор типа обмоток. Принципы выполнения схем обмоток машин переменного тока.

4 СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

Устройство и принцип действия синхронных машин. Способы возбуждения синхронных машин.

Магнитное поле синхронной машины. Реакция якоря трехфазного синхронного генератора при активной, индуктивной, емкостной и смешанной нагрузках.

Магнитные потоки и электродвижущие силы синхронного генератора. Уравнение равновесия электродвижущих сил, векторные диаграммы неявнополюсного и явнополюсного синхронных генераторов.

Синхронный генератор. Параметры синхронного генератора, их экспериментальное определение. Характеристики синхронного генератора: холостого хода короткого замыкания, нагрузочная, внешняя и регулировочная.

Потери и коэффициент полезного действия синхронных машин.

Параллельная работа синхронного генератора с сетью. Условия и способы включения. Электромагнитная мощность синхронной машины, угловая характеристика.

Регулирование активной и реактивной мощностей синхронного генератора, U-образные характеристики синхронного генератора.

Переходный процесс в синхронном генераторе при внезапном коротком замыкании. Сверхпереходное и переходное сопротивление синхронного генератора. Последствия короткого замыкания.

Синхронный двигатель. Основные сведения, пуск. Работа синхронного двигателя при изменении тока возбуждения, U-образные характеристики синхронного двигателя, синхронный компенсатор. Рабочие характеристики синхронного двигателя, преимущества и недостатки его в сравнении с асинхронным.

Синхронные двигатели специального назначения: реактивный, гистерезисный, шаговый, с постоянными магнитами, индукторный.

5 АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

Конструкция и принцип работы асинхронного двигателя. Паспортные данные асинхронного двигателя.

Асинхронная машина с неподвижным ротором: индукционный регулятор, фазорегулятор.

Асинхронный двигатель при вращающемся роторе.

Схемы замещения асинхронной машины. Приведение вращающейся асинхронной машины к неподвижному состоянию. Приведение параметров обмотки ротора к обмотке статора. Анализ Т и Г – образных схем замещения асинхронного двигателя. Векторная диаграмма асинхронного двигателя.

Опыты холостого хода и короткого замыкания.

Потери, энергетическая диаграмма и коэффициент полезного действия асинхронного двигателя.

Общее выражение момента асинхронной машины. Упрощенная расчетная формула момента и механическая характеристика асинхронной машины. Механическая характеристика асинхронного двигателя при изменении напряжения и сопротивления в цепи обмотки ротора. Паразитные моменты.

Анализ рабочих характеристик асинхронного двигателя, их экспериментальное получение и аналитический расчет, понятие о круговой диаграмме.

Пуск асинхронного двигателя: пусковые свойства, способы пуска с фазным и короткозамкнутым ротором. Асинхронный двигатель с улучшенными пусковыми характеристиками.

Способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя изменением: числа пар полюсов, частоты, скольжения.

Работа асинхронного двигателя: при отклонении напряжения и частоты тока от номинальных значений, при несимметричном и несинусоидальном напряжениях.

Однофазные асинхронные двигатели: устройство и принцип работы, пуск, рабочий режим, конденсаторный двигатель. Сравнение однофазного и конденсаторного двигателей с трехфазным. Однофазный двигатель с экранированными полюсами.

Асинхронная машина в режиме генератора, в режимах противовключения и динамического торможения.

Асинхронные машины специального назначения: преобразователь частоты, вращающиеся трансформаторы, сельсины, исполнительные, дуговые и линейные двигатели.

Единые серии асинхронных двигателей.

6 ТРАНСФОРМАТОРЫ

Конструкция и принцип работы трансформатора. Области применения трансформаторов. Разновидности трансформаторов по назначению и типу. Обмотки трансформаторов: цилиндрические, дисковые, винтовые, маркировка обмоток.

Режим холостого хода трансформатора, намагничивающий ток. Режим нагрузки трансформатора, уравнения Кирхгофа для его контуров. Приведение чисел витков обмоток трансформатора. Уравнения равновесия электродвижущих сил и токов приведенного трансформатора. Векторная диаграмма приведенного трансформатора.

Схема замещения. Опыты холостого хода и короткого замыкания.

Потери и коэффициент полезного действия трансформатора. Зависимость коэффициента полезного действия трансформатора от нагрузки, эксплуатационный коэффициент полезного действия. Изменение вторичного напряжения трансформатора от степени и характера его загрузки, внешняя характеристика. Регулирование напряжения трансформаторов.

Трехфазный трансформатор: схемы и группы соединения обмоток. Параллельная работа трансформаторов, условия включения. Параллельное включение трансформаторов при несоблюдении условий.

Работа трехфазных трансформаторов при несимметричной нагрузке.

Переходные процессы при включении и коротком замыкании трансформатора.

Автотрансформаторы и многообмоточные трансформаторы.

Специальные трансформаторы: с плавным регулированием напряжения, выпрямительных установок, сварочные, импульсные, пиктрансформаторы, для преобразования числа фаз, измерительные.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Примерный перечень лабораторных работ

1. Исследование генератора с независимым возбуждением.
2. Исследование генератора с параллельным и смешанным возбуждением.
3. Исследование двигателя с параллельным возбуждением.
4. Исследование двигателя с последовательным возбуждением.
5. Исследование трехфазного синхронного генератора.
6. Параллельная работа синхронного генератора с сетью.
7. Исследование трехфазного синхронного двигателя.
8. Исследование трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.
9. Исследование трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором в режиме индукционной нагрузки, реактивной катушки, фазорегулятора.
10. Исследование трехфазного преобразователя частоты.

11. Исследование однофазного асинхронного двигателя.
12. Исследование асинхронного генератора.
13. Исследование трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором.
14. Исследование трехфазного двухобмоточного трансформатора.
15. Маркировка выводов, определение групп соединения обмоток трансформатора, параллельная работа трансформаторов.
16. Несимметричная нагрузка трехфазных трансформаторов.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Кацман, М.М. Электрические машины / М.М. Кацман. – М. : Высшая школа, 2008.
2. Брускин, Д.Э. Электрические машины / Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов. — М. : Высшая школа, 1987.
3. Шевчик, Н.Е. Электрические машины : учеб. пособие / Н.Е. Шевчик, Г.Д. Подгайский. – Мн. : Дизайн ПРО, 2000.
4. Александров, Н.Н. Электрические машины и микромашины / Н.Н. Александров. — М. : Колос, 1983.
5. Сукманов В.И. Электрические машины и аппараты / В. И. Сукманов. - Москва: Колос, 2001.

Дополнительная

6. Электрические машины: методические указания по изучению дисциплины и выполнению контрольных работ для студентов заочного отделения / БГАТУ, кафедра электроснабжения; сост. Н.Е. Шевчик, Л.С. Лицкевич. – Минск, 2006.
7. Токарев, Б.Ф. Электрические машины / Б.Ф.Токарев. — М. : Энергоатомиздат, 1989.
8. Электрические машины: методическое пособие по выполнению лабораторных работ "Асинхронные машины" / БГАТУ, кафедра электроснабжения; сост. В.М. Збродыго, Л.С. Лицкевич. – Минск, 2001.
9. Электрические машины: методическое пособие по выполнению лабораторных работ "Трансформаторы" / БГАТУ, кафедра электроснабжения; сост. Л.С. Лицкевич. – Минск, 2001.
10. Электрические машины: методическое пособие по выполнению лабораторных работ "Синхронные машины"/ БГАТУ, кафедра электроснабжения; сост.: А.В. Крутов, Н.Е. Шевчик, Л.С. Лицкевич. – Минск, 1998.
11. Электрические машины: методическое пособие по выполнению лабораторных работ "Машины постоянного тока" / БГАТУ, кафедра электроснабжения; сост. Лицкевич Л.С., Н.Е.Шевчик, А.В.Крутов. – Минск, 1998.

ГЛОССАРИЙ

Автотрансформатор – трансформатор, имеющий электрическую связь между первичной и вторичной обмотками.

Возбуждение электрической машины – наведение в ней основного магнитного потока.

Генератор – устройство, преобразующее механическую энергию в электрическую.

Группа соединения обмоток трансформаторов – маркировка выводов обмоток трансформатора, определяемая углом сдвига между векторами линейных напряжений первичной и вторичной обмоток.

Двигатель – устройство, преобразующее электрическую энергию в механическую.

Коллектор – механический преобразователь переменного тока в постоянный и наоборот. Имеет форму цилиндра, изготовленного из пластин проводникового материала, которые жестко соединены с секциями якорной обмотки, осуществляет электрический контакт со щетками.

Компенсатор синхронный – синхронный двигатель, работающий в режиме холостого хода с перевозбуждением, предназначенный для компенсации реактивной мощности.

Коммутация машины постоянного тока – явления, связанные с переходом щетки с одной коллекторной пластины на другую.

Коэффициент насыщения магнитной системы – отношение магнитодвижущей силы всей машины к магнитодвижущей силе воздушного зазора.

Коэффициент полезного действия – отношение полезной мощности к потребляемой.

Коэффициент трансформации трансформатора – отношение чисел витков первичной и вторичной обмоток.

Коэффициент обмоточный – коэффициент, учитывающий уменьшение магнитодвижущей силы обмотки от укорочения шага, распределения обмотки и скоса пазов.

Магнитодвижущая сила – сила, заставляющая магнитный поток течь по магнитопроводу.

Мощность электромагнитная – мощность, которая передается магнитным потоком.

Напряжение короткого замыкания трансформатора – потеря напряжения в трансформаторе при номинальной нагрузке.

Нейтраль геометрическая – место щеток на коллекторе, откуда теоретически снимается наибольшее напряжение, если машина работает генератором; или создается наибольший вращающий момент, если машина работает двигателем.

Поле магнитное вращающееся круговое – вектор магнитного потока, вращающийся в расточке статора с постоянным модулем.

Поле магнитное вращающееся эллиптическое – вектор магнитного потока, вращающийся в расточке статора с изменяющимся модулем. Если вычертить кривую конца вектора, то получится эллипс.

Полюсы добавочные – расположены между основными, их назначение — улучшение коммутации.

Потери: добавочные – все неучтенные потери в машине; **магнитные** – имеют место в магнитопроводе, зависят от значения магнитной индукции, частоты перемагничивания, марки и толщины листов электротехнической стали; **механические** – вызываются трением в подшипниках, вентилятора о воздух и щеток о коллектор; **электрические** – имеют место в обмотках, зависят от квадрата тока и сопротивления обмотки.

Параллельная ветвь обмотки машины постоянного тока – часть обмотки, заключенная между двумя щетками.

Реакция якоря машины постоянного тока – влияние потока созданного обмоткой якоря на основной магнитный поток.

Режим работы электрической машины: кратковременный – температура обмоток машины не достигает установившегося значения, а во время перерыва остывает до температуры окружающей среды; **повторно-кратковременный** – температура обмоток машины не достигает установившегося значения, но во время перерыва не остывает до температуры окружающей среды; **продолжительный** – температура обмоток машины достигает установившегося значения.

Секция обмотки статора машины переменного тока – ряд последовательно соединенных витков, имеющих общую пазовую изоляцию.

Синхронизация – приведение синхронного генератора в состояние, соответствующее условиям его включения на параллельную работу с сетью.

Скольжение – разница между частотами вращения ротора и магнитного поля статора в относительных единицах.

Соединения уравнивательные – проводники, соединяющие лобовые части обмоток, используются для разгрузки щеток от уравнивательных токов при несимметрии параллельных ветвей обмотки якоря машины постоянного тока.

Тахогенератор – генератор, использующийся для измерения частоты вращения.

Трансформатор – устройство, содержащее две и более магнитосвязанные обмотки, предназначенное для преобразования электроэнергии одного напряжения в другое напряжение одинаковой частоты.

Характеристика электрической машины – зависимость между двумя параметрами, при условии, что все остальные параметры не изменяются.

Шаг обмотки – расстояние между активными сторонами секции, выраженное в пазах.

Электродвижущая сила – сила, заставляющая электрический ток течь по проводнику.

Содержание

Пояснительная записка	3
Примерный тематический план	5
Содержание учебного материала	6
Информационно-методическая часть	9
Глоссарий	11

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

Учебное издание

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

**Типовая учебная программа
для высших учебных заведений по специальностям:**

1-74 06 05 Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (по направлениям),
1-53 01 01 Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям),
направление специальности 1-53 01 01-09 Автоматизация технологических
процессов и производств (сельское хозяйство)

Составители:

**Шевчик Николай Евгеньевич,
Протосовицкий Иван Васильевич**

Ответственный за выпуск *Н.Е. Шевчик*

Компьютерная верстка *В.В. Бучацкая*
Корректор *Г.В. Анисимова*

Подписано в печать 15.10. 2010 г. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,73. Тираж 30 экз. Заказ 887.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный
технический университет»
ЛИ №02330/0552984 от 14.04.2010.
ЛП №02330/0552743 от 02.02.2010.
Пр-т Независимости, 99-2, 220023, Минск.