

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Н. Е. Шевчик**

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
высших учебных заведений Республики Беларусь  
по образованию в области сельского хозяйства  
в качестве учебно-методического пособия для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 1-74 06 05-01  
Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика),  
1-53 01 01-09 Автоматизация технологических процессов  
и производств (сельское хозяйство)*

**В двух частях**

**Часть 1**

Минск  
БГАТУ  
2011

УДК 621.313(075.8)  
ББК 31.261я7  
Ш37

Рецензенты:  
кафедра «Электроснабжение» БНТУ;  
начальник электротехнического отдела РУП  
«Научно-исследовательский и проектно-технологический институт  
хлебопродуктов» *В. И. Потаннев*

**Шевчик, Н. Е.**  
Ш37 Электрические машины : учеб.-методич. пособие: В 2 ч. Ч. 1 /  
Н. Е. Шевчик. – Минск : БГАТУ, 2011. – 188 с.  
ISBN 978-985-519-435-5.

Учебно-методическое пособие содержит общие сведения об электрических машинах постоянного и переменного тока. В нем рассмотрены вопросы теории, изучены принцип действия, характеристики, режимы работы и области применения таких машин, даны рекомендации по подготовке к итоговому контролю знаний изучаемых разделов дисциплины.

Издание предназначено для студентов, магистрантов, аспирантов вузов, учащихся колледжей, рекомендовано специалистам в области электрификации сельского хозяйства.

УДК 621.313(075.8)  
ББК 31.261я7

ISBN 978-985-519-435-5

© БГАТУ, 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

---

|  |    |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....  | 8  |
| 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ<br>ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ.....   | 9  |
| 1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН .....   | 9  |
| 1.2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ<br>ЭЛЕКТРОМАШИНОСТРОЕНИЯ .....                       | 10 |
| 1.3. ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ,<br>ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КУРСЕ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ».....           | 11 |
| 1.4. НОМИНАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ<br>И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН .....                           | 13 |
| 1.5. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ<br>УСЛОВИЯМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ..... | 14 |
| 2. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....  | 16 |
| 2.1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО<br>МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА .....                             | 16 |
| 2.2. ОБМОТКИ ЯКОРЯ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА .....  | 20 |
| 2.2.1. Назначение и устройство обмотки якоря.....  | 20 |
| 2.2.2. Основы расчета и принципы построения<br>простых петлевых обмоток .....                  | 21 |
| 2.2.3. Основы расчета и принципы построения<br>простых волновых обмоток.....                   | 24 |
| 2.2.4. Сложные обмотки и уравнивающие соединения.....  | 27 |
| 2.2.5. Электродвижущая сила (ЭДС)<br>обмотки якоря машины постоянного тока.....                | 29 |
| 2.2.6. Электромагнитный момент, развиваемый якорем<br>машины постоянного тока.....             | 31 |
| 2.2.7. Способы возбуждения машин постоянного тока.....   | 32 |
| 2.3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....   | 34 |
| 2.3.1. Магнитная цепь машины постоянного тока.....   | 34 |
| 2.3.2. Основы расчета магнитной цепи.....  | 35 |
| 2.3.3. Магнитная характеристика,<br>коэффициент насыщения .....                                | 36 |
| 2.3.4. Реакция якоря<br>при установленных на геометрическую нейтраль щетках.....               | 37 |
| 2.3.5. Реакция якоря<br>при смещенных с геометрической нейтрали щетках.....                    | 40 |
| 2.3.6. Влияние реакции якоря на работу машины и ее устранение .....                            | 41 |
| 2.4. КОММУТАЦИЯ В МАШИНАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....  | 43 |
| 2.4.1. Причины искрения под щеткой,<br>оценка степеней искрения.....                           | 43 |
| 2.4.2. Прямолинейная, замедленная<br>и ускоренная коммутация .....                             | 45 |
| 2.4.3. Способы улучшения коммутации .....  | 50 |
| 2.5. ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА .....   | 54 |
| 2.5.1. Параметры и характеристики генераторов.....   | 54 |
| 2.5.2. Уравнения равновесия ЭДС<br>и моментов генератора постоянного тока .....                | 55 |
| 2.5.3. Генератор независимого возбуждения .....  | 56 |
| 2.5.4. Генератор параллельного возбуждения.....  | 59 |
| 2.5.5. Генератор смешанного возбуждения.....   | 63 |
| 2.6. ДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....   | 65 |
| 2.6.1. Уравнения равновесия ЭДС и моментов двигателя .....                                     | 65 |
| 2.6.2. Потери и КПД двигателя постоянного тока .....   | 65 |
| 2.6.3. Характеристики двигателей постоянного тока .....  | 67 |
| 2.6.4. Характеристики двигателей<br>параллельного возбуждения .....                            | 68 |
| 2.6.5. Характеристики двигателей<br>последовательного возбуждения.....                         | 71 |
| 2.6.6. Характеристики двигателя<br>смешанного возбуждения.....                                 | 74 |
| 2.6.7. Регулирование частоты<br>вращения двигателей постоянного тока .....                     | 75 |

|  |     |
|--|-----|
| 2.6.8. Пуск двигателей постоянного тока .....                    | 82  |
| 2.6.9. Устойчивость работы двигателей<br>постоянного тока .....  | 83  |
| 2.6.10. Режимы работы машин постоянного тока .....               | 85  |
| 2.6.11. Торможение двигателей постоянного тока .....             | 86  |
| 2.6.12. Универсальные коллекторные двигатели .....               | 89  |
| 2.6.13. Современные серии машин постоянного тока .....           | 92  |
| 2.7. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА<br>СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ .....    | 94  |
| 2.7.1. Тахогенераторы .....                                      | 94  |
| 2.7.2. Сварочные генераторы .....                                | 94  |
| 2.7.3. Электромашинные усилители .....                           | 96  |
| 2.7.4. Вентильные двигатели .....                                | 98  |
| 2.7.5. Двигатели с гладким якорем .....                          | 99  |
| 2.7.6. Двигатели с печатными обмотками якоря .....               | 100 |
| 2.7.7. Исполнительные двигатели постоянного тока .....           | 102 |
| 3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ<br>О МАШИНАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА .....            | 104 |
| 3.1. ПОЛУЧЕНИЕ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ .....                | 104 |
| 3.2. МАГНИТОДВИЖУЩАЯ СИЛА ОБМОТКИ СТАТОРА .....                  | 106 |
| 3.2.1. Магнитодвижущая сила катушки .....                        | 106 |
| 3.2.2. Магнитодвижущая сила катушки<br>с укороченным шагом ..... | 109 |
| 3.2.3. Магнитодвижущая сила<br>распределенной обмотки .....      | 111 |
| 3.2.4. Магнитодвижущая сила обмотки<br>при скосе пазов .....     | 113 |
| 3.2.5. Магнитодвижущая сила<br>трехфазной обмотки .....          | 114 |
| 3.3. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА ОБМОТКИ .....                          | 116 |
| 3.4. ОБМОТКИ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА .....                        | 118 |
| 3.4.1. Способы выполнения обмоток .....                          | 118 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.4.2. Классификация и выбор типа обмоток .....  | 119 |
| 3.4.3. Принципы построения<br>трехфазных статорных обмоток .....                                     | 121 |
| 4. СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ .....   | 128 |
| 4.1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН .....   | 128 |
| 4.2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ<br>СИНХРОННЫХ МАШИН .....   | 130 |
| 4.3. СПОСОБЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ<br>СИНХРОННЫХ МАШИН .....   | 133 |
| 4.4. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ<br>СИНХРОННОЙ МАШИНЫ .....   | 134 |
| 4.5. РЕАКЦИЯ ЯКОРЯ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ .....   | 136 |
| 4.6. УРАВНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ<br>И ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА<br>СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА .....                   | 138 |
| 4.6.1. Уравнение напряжений синхронного генератора .....   | 138 |
| 4.6.2. Векторные диаграммы синхронного генератора .....  | 140 |
| 4.7. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ<br>СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА<br>ПРИ РАБОТЕ НА АВТОНОМНУЮ НАГРУЗКУ ..... | 143 |
| 4.7.1. Характеристики синхронного генератора .....   | 143 |
| 4.7.2. Определение параметров синхронного генератора .....   | 148 |
| 4.8. ПОТЕРИ И КПД СИНХРОННЫХ МАШИН .....   | 151 |
| 4.9. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА<br>СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ .....   | 153 |
| 4.9.1. Необходимость и условия включения<br>синхронных генераторов на параллельную работу .....      | 153 |
| 4.9.2. Способы включения синхронных генераторов<br>на параллельную работу .....                      | 153 |
| 4.9.3. Мощность синхронного генератора,<br>подключенного к сети .....                                | 155 |
| 4.9.4. Угловая характеристика и синхронизирующая способность<br>синхронного генератора .....         | 158 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.9.5. Регулирование реактивной мощности,<br>отдаваемой в сеть синхронным генератором.....  | 159 |
| 4.9.6. Переходной процесс в синхронном генераторе<br>при внезапном коротком замыкании ..... | 161 |
| 4.10. СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ.....   | 164 |
| 4.10.1. Основные сведения<br>и принцип работы синхронного двигателя .....                   | 164 |
| 4.10.2. Пуск синхронных двигателей .....  | 166 |
| 4.10.3. Работа синхронного двигателя<br>при изменении тока возбуждения.....                 | 167 |
| 4.10.4. Синхронный компенсатор.....   | 168 |
| 4.10.5. Рабочие характеристики синхронного двигателя .....                                  | 169 |
| 4.10.6. Преимущества и недостатки синхронного двигателя<br>по сравнению с асинхронным ..... | 171 |
| 4.11. СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ<br>СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....                                     | 172 |
| 4.11.1. Реактивные двигатели .....  | 172 |
| 4.11.2. Гистерезисные двигатели .....   | 173 |
| 4.11.3. Шаговые двигатели.....  | 175 |
| 4.11.4. Синхронные машины с постоянными магнитами.....                                      | 176 |
| 4.11.5. Индукторные синхронные машины .....   | 178 |
| ЛИТЕРАТУРА.....   | 180 |
| СТРУКТУРА ОТВЕТОВ<br>НА ВОПРОСЫ ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ .....                                    | 181 |

## ВВЕДЕНИЕ

---

Дисциплина «Электрические машины» базируется на курсах «Физика», «Высшая математика», «Теоретические основы электротехники», «Электрические измерения». В свою очередь, она является базой для изучения всех специальных дисциплин: «Автоматизированный электропривод», «Электроснабжение», «Эксплуатация и ремонт электрооборудования» и пр.

Цель изучения дисциплины «Электрические машины» – подготовка специалистов, способных решать задачи, связанные с использованием электрических машин.

В результате изучения дисциплины студенты должны знать устройство, принцип действия, характеристики, режимы работы и области применения электрических машин, а также должны уметь подключать и испытывать, рассчитывать и измерять параметры, строить необходимые характеристики электрических машин.

Составными частями дисциплины являются следующие разделы: «Машины постоянного тока», «Асинхронные машины», «Синхронные машины», «Трансформаторы».

В 1 части учебного пособия рассмотрены вопросы первых двух разделов.

Приведены вопросы итогового контроля и комментарии по структуре ответа на них.