

Министерство образования и науки Российской Федерации  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

В.И. ВЕТРОВ  
В.П. ЕРУШИН  
И.П. ТИМОФЕЕВ

# ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, ДИАГНОСТИКА И ЗАЩИТА

Утверждено Редакционно-издательским  
советом университета в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК  
2013

УДК 621.314(075.8)  
В 393

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. *А.В. Лыкин*,  
канд. техн. наук, доц. *А.И. Щеглов*

Работа подготовлена на кафедре электрических станций  
для студентов и магистрантов по направлению  
подготовки «Электроэнергетика и электротехника»  
факультета энергетики

**Ветров В.И.**

В 393 Электромеханические преобразователи, диагностика и защита: учеб. пособие / В.И. Ветров, В.П. Ерушин, И.П. Тимофеев. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. – 259 с.

ISBN 978-5-7782-2359-2

Рассматриваются физические закономерности, имеющие место в электромеханических преобразователях (синхронные генераторы, асинхронные и синхронные двигатели) в различных режимах. Приведены способы диагностики места повреждения в обмотках статора и ротора электрической машины и состояние ее изоляции. Проведен анализ входных сигналов устройств диагностики и защиты электродвигателей. Описаны принципы защиты электродвигателей, выполненных на микроэлектронной базе.

Пособие предназначено для студентов и магистрантов при изучении дисциплин: «Режимы основного оборудования электростанций», «Основы эксплуатации электрических станций» и «Релейная защита электроэнергетических систем», а также может быть полезно инженерно-техническим работникам электротехнических служб энергосистем.

УДК 621.314(075.8)

ISBN 978-5-7782-2359-2

© Ветров В.И., Ерушин В.П.,  
Тимофеев И.П., 2013  
© Новосибирский государственный  
технический университет, 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	6
<b>1. Физические основы электромеханического преобразования энергии .....</b>	<b>8</b>
1.1. Общие положения.....	8
1.2. Физические явления в электромеханическом преобразователе.....	9
1.3. Электромагнитная мощность обмоток.....	13
1.4. Уравнение движения ротора.....	17
<b>2. Вращающиеся магнитные поля в электромагнитных преобразователях .....</b>	<b>19</b>
2.1. Общие положения.....	19
2.2. Метод исследования вращающегося магнитного потока статора .....	19
2.3. Магнитный поток в зазоре в симметричном режиме .....	21
2.4. Магнитный поток в зазоре при несимметрии токов статора .....	23
2.5. Моменты на валу синхронных машин.....	25
2.6. Момент на валу асинхронного двигателя.....	29
<b>3. Нормальные режимы синхронных генераторов.....</b>	<b>32</b>
3.1. Особенности турбогенераторов и гидрогенераторов .....	32
3.2. Факторы, определяющие активную мощность турбогенераторов .....	35
3.3. Характеристики холостого хода и трехфазного короткого замыкания.....	37
3.4. Упрощенная векторная диаграмма турбогенератора.....	41
3.5. Регулировочные характеристики генератора .....	42
3.6. Внешние характеристики генератора.....	46
3.7. Угловые характеристики активной и реактивной мощностей .....	49
3.8. Режим синхронного компенсатора.....	53
3.9. Режим генератора и двигателя.....	55
3.10. Регулирование активной мощности .....	57
3.11. Регулирование реактивной мощности .....	61
3.12. Зависимость режима генератора от напряжения на его выводах .....	64
3.13. Диаграмма мощностей турбогенератора .....	65
3.14. Ограничение нагрузки генератора по условиям обеспечения устойчивой параллельной работы.....	68
3.15. Ограничение режима работы генератора по условию нагрева торцевых зон статора.....	69
<b>4. Нормальные режимы электродвигателей.....</b>	<b>73</b>
4.1. Общие положения.....	73
4.2. Схема замещения и векторные диаграммы асинхронного двигателя .....	76
4.3. Электромеханическая характеристика асинхронного двигателя.....	80

4.4. Круговая диаграмма асинхронного двигателя.....	84
4.5. Двигатели с улучшенными пусковыми характеристиками.....	86
4.6. Пуск электродвигателей.....	89
4.7. Графоаналитический метод решения уравнения движения.....	91
4.8. Нагрев обмоток электродвигателей при пуске.....	92
4.9. Выбег машинных агрегатов.....	94
4.10 Групповой выбег электродвигателей.....	98
4.11. Расчет допустимой суммарной мощности неотключаемых электродвигателей при самозапуске.....	100
4.12. Графоаналитический метод расчета самозапуска электродвигателей собственных нужд.....	103
<b>5. Аномальные режимы генераторов.....</b>	<b>108</b>
5.1. Асинхронный режим синхронного генератора.....	108
5.2. Допустимость работы турбогенератора в асинхронном режиме.....	109
5.3. Работа турбогенератора в асинхронном режиме при замкнутой и разомкнутой обмотке возбуждения.....	111
5.4. Условия работы генераторов в асинхронном режиме.....	114
5.5. Асинхронный ход с возбуждением.....	116
5.6. Способы включения генератора в сеть.....	117
5.7. Включение генератора в сеть способом самосинхронизации.....	119
5.8. Пусковые характеристики генераторов.....	122
5.9. Особенности способа самосинхронизации генераторов.....	124
5.10. Особенности несимметричных режимов.....	125
5.11. Тепловой режим работы турбогенератора при несимметрии.....	127
5.12. Интегральный критерий термической стойкости турбогенераторов.....	128
5.13. Кратковременные перегрузки генераторов.....	130
<b>6. Аномальные режимы электродвигателей.....</b>	<b>133</b>
6.1. Особенности несимметричных режимов асинхронных электродвигателей.....	133
6.2. Влияние обрыва параллельной ветви одной катушки обмотки статора электродвигателя на величину тока статора.....	149
6.3. Режим асинхронного электродвигателя с электрической несимметрией в роторе.....	151
6.4. Определение зависимости тока статора от мощности или момента сопротивления на валу.....	170
<b>7. Диагностика электрических машин.....</b>	<b>174</b>
7.1. Общие положения.....	174
7.2. Анализ импульсных (частотных) способов определения повреждений в обмотках генераторов.....	179
7.3. Способы обнаружения места замыкания на корпус обмотки ротора.....	185
7.3.1. Способ замера ЭДС по зубцам ротора.....	185
7.3.2. Способ зондирования тела ротора с измерением индуцированных ЭДС на кольцах ротора.....	187
7.3.3. Способ зондирования обмотки возбуждения.....	189
7.4. Определение места виткового замыкания в обмотках электрических машин.....	198
7.4.1. Способ зондирования тела ротора с замером ЭДС на кольцах ротора.....	198

7.4.2. Способ зондирования тела ротора с замером на зубцах ротора .....	202
7.4.3. Способ зондирования обмотки возбуждения .....	203
7.4.4. Использование датчиков для определения мест повреждений в обмотках электрических машин .....	207
7.5. Определение мест замыканий пакетов стали сердечников электрических машин .....	209
7.6. Диагностика изоляции электродвигателей .....	209
<b>8. Микроконтроллерные устройства защиты и диагностики агрегатов «электро- двигатель–механизм» .....</b>	<b>221</b>
8.1. Общие положения.....	221
8.2. Функциональная схема микроконтроллерной защиты и диагностики электродвигателей 0,4 кВ.....	222
8.3. Алгоритм функционирования системы контроля уровня изоляции .....	224
8.4. Алгоритм функционирования максимальной токовой защиты без выдержки времени.....	225
8.5. Алгоритм функционирования защиты от перегрузки .....	226
8.6. Элементы диагностики электродвигателя и рабочего механизма.....	231
8.7. Алгоритм функционирования защиты от несимметричных режимов .....	232
8.8. Алгоритм действия защиты от пульсирующей нагрузки .....	237
8.9. Использование устройства в составе АСУ ТП.....	239
<b>9. Алгоритмы функционирования микроконтроллерного устройства защиты присоединений 6 – 35 кВ.....</b>	<b>240</b>
9.1. Назначение, структурная схема устройства .....	240
9.2. Основные функции устройства .....	244
9.3. Алгоритмы максимальных токовых защит .....	245
9.4. Алгоритмы токовых защит от замыканий на землю.....	249
9.5. Алгоритмы защиты минимального напряжения и дуговой защиты .....	250
9.6. Алгоритмы автоматики управления выключателем.....	251
Библиографический список .....	257