**Метельков Владимир Павлович Развитие теории и разработка методов оценки теплового состояния электродвигателей при проектировании и эксплуатации асинхронных электроприводов**

**ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**доктор наук Метельков Владимир Павлович**

**Введение**

**1. Теоретические аспекты построения термодинамических**

**моделей АД для задач электропривода**

**1.1. Математическое описание обобщенной ТДМ**

**электрической машины**

**1.1.1. Основные уравнения ТДМ электрической машины**

**1.1.2. Учет температурной зависимости входных**

**воздействий в ТДМ электрической машины**

**1.2. Анализ динамики обобщенной ТДМ электрической машины**

**1.2.1. Исследование решения матричного уравнения термодинамической модели**

**1.2.2. Влияние температурного изменения мощности потерь**

**на характер процессов в ТДМ электрической машины**

**1.3. Оценка влияния температурной зависимости параметров на свойства ТДМ электрической машины**

**1.3.1. Влияние температуры на теплоемкости**

**1.3.2. Влияние температуры на тепловые проводимости**

**1.3.3. Влияние температурной зависимости теплоемкостей**

**и тепловых проводимостей на результаты расчета**

**1.4. Анализ точности решения ТДМ электрической машины**

**1.4.1. Влияние вычислительных погрешностей**

**1.4.2. Влияние погрешностей задания исходных данных**

**1.5. Выводы по главе**

**2. Математическое описание двухмассовой ТДМ АД и**

**определение ее параметров**

**2.1. Анализ тепловых схем асинхронных двигателей**

**2.2. Уравнения двухмассовой ТДМ**

**2.3. Состав и структура двухмассовой ТДМ АД**

**2.3.1. Состав и структура двухмассовой термодинамической**

**модели АД закрытого исполнения**

**2.3.2. Особенности построения двухмассовой**

**термодинамической модели АД защищенного исполнения**

**2.4. Основные соотношения для определения параметров двухмассовой ТДМ**

**2.5. Анализ превышений температуры узлов в двухмассовой**

**ТДМ АД**

**2.6. Учет особенностей двигателей закрытого и защищенного исполнения при определении параметров термодинамической**

**модели**

**2.6.1. Учет особенностей двигателей закрытого**

**исполнения**

**2.6.2. Учет особенностей двигателей защищенного**

**исполнения**

**2.7. Анализ взаимосвязей параметров двухмассовой ТДМ**

**закрытых АД**

**2.7.1. Система относительных единиц (Вариант А)**

**2.7.2. Система относительных единиц (Вариант Б)**

**2.8. Выводы по главе**

**3. Использование дополнительной информации для**

**параметрирования двухмассовой ТДМ АД**

**3.1. Использование дополнительной информации для**

**приближенной оценки теплоемкостей двухмассовой ТДМ АД**

**3.1.1. Определение теплоемкости С1**

**3.1.2. Определение теплоемкости С2**

**3.2. Особенности определения параметров двухмассовой ТДМ АД**

**для двигателей повторно-кратковременного режима работы**

**3.2.1. Основные соотношения**

**3.2.2. Обоснование критерия для оценки теплового**

**состояния двигателя в ПКР на основе температурных кривых**

**3.2.3. Возможные варианты задания исходных данных**

**3.2.4. Анализ взаимосвязей тепловых проводимостей**

**двухмассовой ТДМ и критерия для оценки теплового**

**состояния двигателя**

**3.3. Определение параметров двухмассовой ТДМ АД с**

**использованием экспериментальных результатов**

**3.3.1. Возможности использования экспериментальных результатов при определении параметров ТДМ**

**3.3.2. Об экспериментальном определении постоянных**

**нагрева в режиме холостого хода АД**

**3.4. Выводы по главе**

**4. Ресурсный подход к оценке теплового состояния**

**электрической машины**

**4.1. Связь долговечности изоляции обмоток электрических**

**машин и режимов работы**

**4.1.1. Краткий анализ причин выхода АД из строя**

**4.1.2. Учет факторов, влияющих на долговечность изоляции**

**обмоток электрической машины**

**4.1.3. Модели старения изоляции**

**4.2. Эквивалентирование тепловых режимов по ресурсу изоляции**

**4.2.1. Принцип эквивалентирования тепловых режимов по**

**ресурсу изоляции**

**4.2.2. Учет принципа эквивалентирования тепловых режимов**

**по ресурсу изоляции на этапе проектирования электропривода**

**4.3. Использование компьютерных моделей электропривода для эквивалентирования тепловых режимов электродвигателей**

**4.3.1. О необходимости компьютерного моделирования термодинамических процессов в электродвигателе для задач электропривода**

**4.3.2. Особенности реализации и ограничения комплексной**

**модели электропривода**

**4.4. Пример использования «ресурсного подхода» для учета**

**влияния изменения температуры окружающей среды**

**4.5. Динамические свойства ТДМ АД**

**4.6. Оценка теплового состояния АД при периодическом детерминированном характере нагружения**

**4.6.1. Использование прямой оценки теплового состояния**

**АД для детерминированного цикла нагружения**

**4.6.2. Использование косвенной оценки теплового состояния**

**АД для детерминированного цикла нагружения**

**4.7. Оценка теплового состояния АД при стохастическом**

**характере нагружения**

**4.7.1. Особенности оценки теплового состояния АД при стохастическом характере нагружения с использованием моделирования**

**4.7.2. Аналитическая оценка теплового состояния АД при стохастическом характере нагружения на этапе**

**конструирования электропривода**

**4.8. Выводы по главе**

**5. Некоторые вопросы мониторинга теплового состояния АД**

**и ресурса изоляции в процессе эксплуатации**

**5.1. Обзор систем тепловой защиты и мониторинга теплового**

**состояния электродвигателей**

**5.2. Термодинамические модели для тепловой защиты**

**5.2.1. Описание ТДМ асинхронного двигателя закрытого исполнения**

**5.2.2. Принцип разделения термодинамических процессов**

**5.2.3. Учет влияния скорости на охлаждение машины**

**5.2.4. Сравнение исходной и модифицированной моделей средствами численного моделирования**

**5.2.5. Особенности ТДМ для тепловой защиты АД**

**защищенного исполнения**

**5.3. Принципы построения и алгоритмы функционирования**

**тепловой защиты на основе ТДМ АД**

**5.3.1. Вариант прямого моделирования с использованием полной ТДМ АД с непосредственным вычислением**

**температуры обмотки**

**5.3.2. Варианты использования ТДМ с разделением процессов**

**5.4. О построении системы мониторинга теплового состояния**

**АД на основе оценки расхода ресурса изоляции**

**5.5. Построение системы непосредственной оценки расхода ресурса изоляции обмоток электродвигателя на основе**

**емкостных токов утечки**

**5.5.1. Постановка проблемы и подходы к ее решению**

**5.5.2. Связь емкостных токов утечки с состоянием**

**изоляции обмотки**

**5.5.3. Сравнение максимумов и эффективных значений**

**емкостного тока утечки как диагностических признаков**

**5.5.4. Алгоритм мониторинга и прогнозирования при использовании емкостных токов утечки как диагностического признака**

**5.6. Выводы по главе**

**6. Исследование теплового состояния АД в пусковых режимах**

**и вопросы согласования параметров электромеханического**

**комплекса**

**6.1. Особенности нагрева роторной обмотки в пусковых режимах**

**6.2. Выражения для греющих потерь в роторе при пуске АД**

**6.2.1. Общее выражение для подъема температуры**

**элементов ротора при пуске АД**

**6.2.2. Составляющие потерь в элементах ротора при пуске АД**

**6.3. Оценка подъема температуры ротора при пуске**

**6.3.1. Вывод уравнения Фредгольма для греющихся**

**элементов ротора АД**

**6.3.2. Решение уравнения Фредгольма для греющихся**

**элементов ротора АД**

**6.3.3. Особенности нагрева ротора при литой обмотке**

**6.3.4. Особенности нагрева ротора при сварной обмотке**

**6.4. Анализ решения уравнения Фредгольма (оценка влияния**

**теплоотдачи от ротора)**

**6.4.1. АД с литой обмоткой ротора**

**6.4.2. АД со сварной обмоткой ротора**

**6.5 Анализ зависимости подъема температуры обмотки ротора**

**при пуске от размеров и номинальной скорости машины**

**6.5.1. Постановка задачи**

**6.5.2. Вариант одинаковой номинальной скорости при**

**разных габаритах двигателей**

**6.5.3. Вариант одинаковой мощности двигателей при разной номинальной скорости**

**6.5.4. Особенности нагрева ротора АД при пуске с использованием ТПН**

**6.6. Выражения для расчета допустимого присоединенного**

**момента инерции**

**6.7. Особенности нагрева обмотки статора АД в пусковых режимах**

**6.7.1. Основные соотношения**

**6.7.2. Особенности нагрева статора АД при пуске с использованием ТПН**

**6.8. Выводы по главе**

**Заключение**

**Список литературы**

**Приложение 1. Номограммы для определения значения коэффициента**

**ускорения расхода термического ресурса изоляции**

**Приложение 2. Свидетельства об официальной регистрации**

**программ для ЭВМ**

**Приложение 3. Патенты на полезные модели**

**Приложение 4. Акты о внедрении (использовании)**

**результатов работы**