

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

**А.М. КУТАРЁВ**

# **СПЕЦИАЛЬНЫЙ КУРС ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН**

Рекомендовано Учёным советом государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования - «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия по программе высшего профессионального образования по специальности 140601 «Электромеханика» направления подготовки дипломированных специалистов «Электротехника, электромеханика и электротехнологии»

Оренбург 2008

УДК 621.313(075.8)  
ББК 31.261я73  
К 95

Рецензент  
доктор технических наук, профессор Н.Г. Никиян

К-95 **Кутарев А.М.**  
**Специальный курс электрических машин: учебное пособие/А.М. Кутарёв – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2008.– 128 с.**

ISBN -

В пособии рассмотрены методы математического описания и исследования электрических машин. Приведены дифференциальные уравнения для трансформаторов, машин постоянного тока, синхронных и асинхронных машин.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения специальности 140601 – Электромеханика и может быть полезно для аспирантов, занимающихся исследованием режимов работы электрических машин.

К 2202070100

ББК 31.261 я 7

ISBN

© Кутарев А.М., 2008  
© ГОУ ОГУ, 2008

## Содержание

Введение.....	5
1 Общие вопросы.....	6
1.1 Основные допущения, принимаемые при исследовании переходных процессов.....	6
1.2 Системы координатных осей.....	7
1.3 Системы относительных единиц.....	10
2 Приведение обмоток электрических машин.....	14
2.1 Определение коэффициента приведения тока обмотки ротора, исходя из условия равенства основных гармонических МДС в воздушном зазоре машины, созданных реальной и приведённой обмотками.....	14
2.2 Определение коэффициента приведения тока обмотки ротора, исходя из условия равенства основных гармонических индукции в воздушном зазоре машины.....	16
2.3 Определение коэффициентов приведения напряжений и сопротивлений роторных контуров к обмотке статора.....	20
3 Замена короткозамкнутой обмотки ротора машины переменного тока эквивалентной двухфазной обмоткой.....	22
3.1 Определение числа витков эквивалентных двухфазных обмоток ротора.....	23
3.2 Параметры эквивалентных роторных контуров.....	27
4 Математические модели и исследование электрических машин с взаимно неподвижными осями обмоток и полюсов.....	30
4.1 Дифференциальные уравнения машины постоянного тока.....	30
4.2 Самовозбуждение генератора постоянного тока параллельного возбуждения.....	32
4.3 Безреостатный пуск двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.....	40
4.4 Дифференциальные уравнения двухобмоточного трансформатора.....	45
4.5 Расчёт токов короткого замыкания двухобмоточного трансформатора.....	45
4.6 Расчёт тока включения трансформатора графоаналитическим методом.....	55
5 Математические модели и исследование электрических машин с взаимно перемещающимися осями обмоток и полюсов.....	61
5.1 Уравнения синхронной машины в системе координат $a, b, c$ статора и $d, q$ ротора.....	61
5.2 Анализ коэффициентов самоиндукции и взаимной индукции обмоток статора и ротора.....	63
5.3 Уравнение равенства моментов в относительных единицах.....	68
5.4 Расчёт токов короткого замыкания однофазного синхронного генератора.....	69
5.5 Метод преобразования координат.....	73

5.6	Уравнения синхронной машины с приведённой обмоткой ротора.....	79
5.7	Операторные уравнения и сопротивления синхронной машины.....	80
5.8	Преобразование операторных индуктивных сопротивлений синхронной машины.....	83
5.9	Выражение электромагнитного момента в системе координат $d - q - 0$ .....	86
5.10	Комплексные дифференциальные уравнения синхронной машины.....	87
5.11	Система координатных осей $\alpha$ и $\beta$ .....	88
6	Обобщенная электрическая машина.....	90
6.1	Схема обобщенной электрической машины.....	90
6.2	Переход от трёхфазной системы координат к двухфазной.....	92
6.3	Уравнения обобщенной электрической машины.....	94
7	Устойчивость синхронных машин.....	95
7.1	Общая характеристика устойчивости синхронных машин.....	95
7.2	Типы нарушений статической устойчивости.....	96
7.3	Линеаризация основных уравнений машины.....	96
7.4	Методы исследования статической устойчивости на основе малых гармонических колебаний.....	99
7.5	Влияние параметров синхронной машины на устойчивость при сползании и самораскачивании .....	102
7.6	Самовозбуждение синхронной машины при наличии ёмкости в цепи обмотки статора.....	104
7.7	Динамическая устойчивость синхронной машины.....	108
7.8	Анализ динамической устойчивости методом площадей.....	111
8	Частотный метод исследования машин переменного тока.....	114
8.1	Общие вопросы.....	114
8.2	Частотные характеристики и параметры машины.....	115
8.3	Построение частотной характеристики машины переменного тока по осциллограмме затухания постоянного тока в обмотке статора при неподвижном роторе и замкнутой обмотке возбуждения.....	118
8.4	Графический метод построения частотной характеристики.....	123
8.5	Определение параметров машин и переходных токов при помощи частотных характеристик.....	124
	Список использованных источников.....	128

## Введение

При изменении напряжений, параметров и моментов во время работы электрической машины возникают переходные процессы. Электромеханические переходные процессы возникают при пуске, реверсе, торможении и регулировании. Электромагнитные переходные процессы возникают при включении трансформаторов и при самовозбуждении электрических машин. Переходные процессы сопровождают аварийные режимы.

Длительность переходных процессов обычно невелика и находится в пределах от 0.1 с до 0.3 с. Например, безреостатный пуск двигателя постоянного тока длится 0.2 – 0.5 с.

Несмотря на ограниченность во времени, переходные процессы оказывают заметное влияние на работу электрической машины и энергосистемы в целом. Так, например, от поведения синхронных генераторов в аварийных режимах зависит работа энергетической системы. Ударный ток в обмотках генераторов при внезапных коротких замыканиях в 10-15 раз превышает номинальный ток, и узлы машины в аварийных режимах испытывают значительные динамические усилия. Например, на лобовые части синхронных генераторов при коротких замыканиях действуют силы до 10 тонн. При выпадении из синхронизма ток превышает номинальный в несколько раз. Выпадение из синхронизма опасно вследствие возрастания потерь мощности. Кратность пускового тока асинхронного двигателя достигает 5-7.

Мощность современных тепловых электростанций составляет 3000-4000 мВт, а гидравлических станций – до 6000 мВт. Возрастает единичная мощность турбогенераторов. В эксплуатации находятся турбогенераторы мощностью 1200 мВт. В проекте единичная мощность турбогенераторов возрастет до 2000 мВт. Мощность гидрогенератора при полном водяном охлаждении составит 1000 мВА. Всё это указывает на острую необходимость изучения нестационарных режимов работы электромеханических преобразователей энергии.

Электрические и механические процессы сопровождают друг друга. Общность заключается в том, что они основаны на законе электромагнитной индукции. Любая электрическая машина может быть представлена совокупностью контуров, связанных взаимной индукцией. Переходные процессы в электрических машинах описываются системой дифференциальных уравнений, которая в общем случае является нелинейной. В исходном виде эта система уравнений настолько сложна, что аналитическое исследование не может быть проведено без упрощений.

Для исследования переходных процессов применяют аналитические методы, например классический или операторный, численные методы, реализуемые на цифровых вычислительных машинах. Для решения некоторых переходных процессов используют графоаналитический метод. Широко используются экспериментальные исследования переходных процессов и исследования на аналоговых вычислительных машинах. Последнее время широко используется частотный метод исследования машин переменного тока.