

УДК 621.313(075.8)
ББК 31.261я73
ПЗ1

Рецензенты:

кафедра электротехники и электромеханики Пермского национального политехнического университета (д-р техн. наук Б. В. Кавалеров);

д-р техн. наук, проф. В. Я. Беспалов (Московский энергетический институт (ТУ));

д-р техн. наук, проф. Г. К. Смолин (Российский государственный профессионально-педагогический университет)

Пластун, А. Т.

ПЗ1 Совмещенные возбуждающие устройства с радиальной асимметрией магнитной системы : учебное пособие / А. Т. Пластун, В. И. Денисенко; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. А. Т. Пластуна. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 442 с.
ISBN 978-5-7996-1277-1

Рассмотрены основы теории и расчета совмещенных бесщеточных возбуждающих устройств нового поколения, в которых использовано нетрадиционное конструктивное, магнитное и электрическое совмещение в одной машине нескольких электромеханических преобразователей. Впервые даются основы проектирования таких возбуждающих устройств, доведенных до сравнительно простых алгоритмов и методов расчета характеристик.

Рекомендовано студентам бакалавриата, обучающимся по профилю «Электромеханика», при изучении дисциплин «Учебно-исследовательская работа студентов», «Научно-исследовательская работа студентов», «Современные проблемы электромеханики», для дипломного проектирования, а также студентам магистратуры по программе «Общие вопросы электромеханического преобразования энергии» при изучении дисциплин «Современные проблемы науки и техники (электромеханика)», «Системы возбуждения синхронных машин», для научно-исследовательской практики, при подготовке магистерских диссертаций. Пособие будет полезно специалистам, занимающимся разработкой и проектированием бесщеточных возбуждающих устройств.

Библиогр.: 135 назв. Рис. 180. Табл. 21.

УДК 621.313(075.8)
ББК 31.261я73

ISBN 978-5-7996-1277-1

© Уральский федеральный университет, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	3
ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	13
РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ БЕСЩЕТОЧНЫХ СОВМЕЩЕННЫХ ВОЗБУДИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С РАДИАЛЬНОЙ АСИММЕТРИЕЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ...	23
1. КОНСТРУКЦИЯ СОВМЕЩЕННЫХ ВОЗБУДИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С РАДИАЛЬНОЙ АСИММЕТРИЕЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ.....	23
1.1. Принципиальное устройство совмещенных возбудительных устройств с радиальной асимметрией магнитной системы	23
1.2. Принцип действия и особенности работы возбудителя в статических и динамических режимах.....	25
2. МАГНИТНАЯ ЦЕПЬ, ОБМОТКИ И МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ СИНХРОННОГО ВОЗБУДИТЕЛЯ	31
2.1. Особенности физической картины поля в СМБВ.....	31
2.2. Структура и схема соединения якорной обмотки синхронного возбудителя	38
2.3. Магнитное поле обмотки возбуждения	42
2.4. Магнитное поле обмотки якоря	47
3. РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ СОВМЕЩЕННОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО БЕСЩЕТОЧНОГО ВОЗБУДИТЕЛЯ	53
3.1. Схема замещения магнитной цепи для расчета магнитной характеристики СМБВ	53
3.1.1. Исходные допущения	54
3.1.2. Схема замещения магнитной цепи полюсов.....	54
электромагнитного возбуждения.....	54
3.1.3. Схема замещения магнитной цепи полюсов комбинированного возбуждения	60
3.2. Расчет магнитных характеристик с учетом реакции якоря	66

3.3. Расчет магнитной цепи СМБВ по упрощенным схемам замещения	68
4. ЭДС И ПАРАМЕТРЫ ОБМОТКИ ЯКОРЯ ВОЗБУДИТЕЛЯ	72
4.1. Величина и форма ЭДС обмотки якоря при холостом ходе возбудителя	72
4.2. Результирующая ЭДС взаимоиндукции обмотки якоря и ее составляющие при нагрузке возбудителя	77
4.3. ЭДС обмотки якоря от основной гармоники магнитного поля	83
4.4. Параметры возбудителя	86
4.4.1. Расчет проводимостей магнитной цепи и коэффициентов МДС зазора	86
4.4.2. Параметры обмотки якоря	89
4.4.3. Параметры обмотки возбуждения	90
5. РАБОТА ВОЗБУДИТЕЛЯ ПРИ НАГРУЗКЕ	93
5.1. Электромагнитные процессы в явнополюсном синхронном возбудителе при нагрузке. Векторная диаграмма напряжений	94
5.2. Электромагнитные параметры и режимы работы 4-фазного мостового преобразователя при ступенчатой форме напряжения питания	98
5.2.1. Основные допущения и условия анализа. Качественная картина работы преобразователя	98
5.2.2. Фазные токи и напряжения 4-фазного мостового выпрямителя	107
5.2.3. Особенности работы преобразователя при прямоугольной форме ЭДС	121
5.2.4. Внешняя характеристика	126
5.2.5. Коэффициенты преобразования тока и напряжения	127
5.2.6. Учет влияния активного сопротивления обмотки якоря и падения напряжения на вентилях	134
6. РЕЖИМЫ РАБОТЫ СОВМЕЩЕННОГО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО БЕСЩЕТОЧНОГО ВОЗБУДИТЕЛЯ	144
6.1. Исходный режим при отсутствии тока возбуждения	144

6.2. Режим отрицательного возбуждения	154
6.3. Номинальный режим работы возбудителя	165
6.4. Установившийся режим форсировки СМБВ при заданном токе возбуждения	177
РАЗДЕЛ 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ СОВМЕЩЕННЫХ ПОДВОЗБУДИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ	184
7. ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ПОДВОЗБУДИТЕЛЕЙ, СОВМЕЩЕННЫХ С ВОЗБУЖДАЕМЫМ СИНХРОННЫМ ВОЗБУДИТЕЛЕМ	184
7.1. Принцип действия подвозбудителей	184
7.2. Физические условия и особенности работы подвозбудителей, совмещенных с возбуждаемым синхронным возбудителем	188
7.3. Эквивалентная схема замещения и мощность совмещенного подвозбудительного устройства	191
8. МЕТОД УДЕЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ВОЗДУШНОМ ЗАЗОРЕ ВОЗБУДИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА	195
8.1. Сущность метода. Принятые допущения и положения метода	198
8.2. Оценка метода удельных магнитных сопротивлений в сравнении с другими методами расчета униполярной проводимости воздушного зазора при двухсторонней зубчатости	206
8.3. Способы аппроксимации точного решения поля при односторонней зубчатости	210
8.3.1. Использование аналитической аппроксимации расчета поля при односторонней зубчатости	210
8.3.2. Использование результатов решения частных полевых задач методом конечных элементов	213
8.4. Математическая модель для расчета магнитного поля в зоне воздушного зазора	215
8.5. Применение метода удельных магнитных сопротивлений для расчета поля совмещенных бесщеточных возбудительных устройств. Сравнение с методом конечных элементов	229

8.5.1. Расчет зубцовых гармонических составляющих магнитного поля с учетом двухсторонней зубчатости в режиме холостого хода возбуждаемой синхронной машины	229
8.5.2. Определение зависимости коэффициента двухсторонней зубчатости	232
8.5.3. Учет влияния насыщения зубцов	237
9. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОБЛАСТИ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА СМБВ МЕТОДОМ УДЕЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ. ПРИБЛИЖЕННЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ.....	252
9.1. Особенности математической модели для расчета поля в области воздушного зазора СМБВ методом удельных магнитных сопротивлений.....	252
9.2. Алгоритм расчета ЭДС совмещенных ВУ на основе МУМС. Расчет основной гармоники ЭДС индукторного подвозбудителя	259
9.3. Оценка и учет влияния зубчатости индуктора на величину индукторной составляющей магнитного поля СМБВ	265
9.4. Определение коэффициента насыщения коронок зубцов	276
9.5. Определение гармоник поля реакции якоря возбуждаемой синхронной машины	283
9.6. Учет влияния зубчатости якоря	287
9.7. Учет влияния явнополюсной конструкции возбудителя	291
10. РАСЧЕТ ЭДС СОВМЕЩЕННЫХ ВОЗБУДИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ	296
10.1. Определение асинхронной составляющей ЭДС 4-фазного совмещенного ПВ	297
10.2. Учет пульсационной (трансформаторной) составляющей асинхронной ЭДС	303
10.3. Расчет индукторной составляющей ЭДС совмещенного ПВ	306
10.3.1. Расчет индукторной ЭДС вращения	306
10.3.2. Учет влияния гармоник поля реакции якоря зубцового порядка	312

11. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ОБМОТКИ ЯКОРЯ СОВМЕЩЕННОГО ПОДВОЗБУДИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА СМБВ	314
12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫПРЯМЛЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ВНЕШНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВМЕЩЕННОГО ПОДВОЗБУДИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА	317
12.1. Влияние структуры якорной обмотки совмещенного ПВ на условия работы полупроводникового преобразователя.....	317
12.2. Описание экспериментальной установки	322
12.3. Несимметричные режимы работы четырехфазного мостового выпрямителя при питании от индукторной обмотки типа $AB-CD$	324
12.4. Экспериментальное определение внешних характеристик преобразователя при амплитудной несимметрии фазных ЭДС типа $AC-BD$	328
12.5. Аналитическое определение внешней характеристики четырёхфазного мостового выпрямителя при питании от индукторной обмотки типа $AC-BD$	329
13. УСТРОЙСТВО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ВОЗБУЖДЕНИЯ И ДАТЧИКА ТОКА РОТОРА СМБВ	333
13.1. Источник питания АРВ	333
13.2. Датчик тока ротора	334
РАЗДЕЛ 3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВМЕЩЕННЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЕЩЕТОЧНЫХ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ	336
14. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СМБВ	336
15. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИНХРОННОГО ВОЗБУДИТЕЛЯ СМБВ	340
15.1. Структура и схема соединения якорной обмотки СВ	340
15.2. Определение расчетной мощности	343

15.3. Основные закономерности, определяющие выбор главных размеров и числа полюсов возбудителя.....	344
15.4. Выбор соотношения геометрических размеров области воздушного зазора возбудителя из условия обеспечения максимальной мощности совмещенного подвозбудителя	348
16. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВМЕЩЕННОГО ПОДВОЗБУДИТЕЛЯ.....	352
16.1. Синтез структуры якорной обмотки совмещенных индукторного и асинхронного подвозбудителей для обеспечения максимальной форсировочной способности СМБВ.....	352
16.1.1. Выбор шага и способа размещения совмещенной якорной обмотки при различных частотах ЭДС совмещенных подвозбудителей.....	353
16.1.2. Выбор числа и способа размещения фаз совмещенного ПВ.....	362
16.2. Выбор соотношения геометрических размеров зубцовой зоны индуктора из условия обеспечения максимальной мощности совмещенного подвозбудителя	372
16.3. Выбор соотношения долевого участия между асинхронным и индукторным подвозбудителями.....	373
17. СИНТЕЗ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ АРВ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДАТЧИКА ТОКА РОТОРА	377
17.1. Выбор геометрических размеров магнитной цепи СМБВУ с учетом размещения постоянных магнитов	377
17.2. Синтез структуры схемы для обеспечения работоспособности датчика тока ротора возбудителя.....	380
18. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННО СОВМЕЩЕННЫХ ВОЗБУДИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ	388
18.1. Подход к технико-экономическому сравнению систем возбуждения синхронных машин	388

18.2. Техничко-экономическая оценка применения СМБВ в системах возбуждения синхронных генераторов дизельных и газотурбинных автономных электростанций	398
18.3. К выбору системы возбуждения для гидрогенераторов малых ГЭС	404
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	409
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	415