

Министерство образования и науки российской федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
РАБОТЫ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ  
МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
В MS И/ЛИ MATLAB**

*Монография*

Архангельск



ИД САФУ  
2014

УДК 621.314: 621.319: 629.12  
ББК 31.2  
И88

*Авторы:* М.М. Музыка, Е.В. Лимонникова, С.В. Платоненков, А.И. Черевко,  
И.А. Сакович, И.Ю. Кузьмин

*Рецензенты:* П.О. Потего, главный инженер ОАО «СПО Арктика»;  
Б.Ф. Дмитриев, доктор технических наук, профессор кафедры  
«Электротехника и электрооборудование судов» СПбГМТУ

И88 Исследование эффективности работы управляемых выпрямителей ме-  
тодами математического моделирования в МС и/или Matlab: монография /  
[М.М. Музыка и др.]; под ред. А.И. Черевко; Сев. (Арктич.) федер. ун-т. –  
Архангельск: ИД САФУ, 2014. – 107 с.  
ISBN 978-5-261-00931-3

Приведены результаты исследования разработанных авторами схемотехнических и математических моделей полупроводниковых преобразователей, содержащих согласующие трансформаторы с пульсирующими и вращающимися магнитными полями. Схемотехнические модели выпрямителей и инверторов, построенные на базе трансформаторов с вращающимися магнитными полями, разработаны в программной среде Micro-Cap и Matlab. Выполнены исследования спектральных составов питающих и выходных токов и напряжений преобразователей и установлены связи между качеством выходных токов и напряжений и числом пар силовых ключей коммутаторов, сделаны выводы об эффективности преобразователей с разным числом пар силовых ключей.

Математическая модель выпрямителя на базе трансформатора с вращающимся магнитным полем разработана в программной среде MatLab-Simulink и предназначена для исследования динамических режимов работы преобразователя нового типа.

Для научных и инженерно-технических работников, а также аспирантов и студентов электротехнических специальностей.

ISBN 978-5-261-00931-3

© Северный (Арктический) федеральный  
университет им. М.В. Ломоносова, 2014

## ВВЕДЕНИЕ

На этапе проектирования управляемых выпрямителей (УВ), как и другого сложного электрооборудования, возникает необходимость в ориентировочной оценке эффективности его работы. При этом показателями эффективности могут быть как параметры, рассчитать которые возможно с помощью существующих или выведенных аналитических зависимостей, так и параметры, которые с достаточной достоверностью можно вычислить лишь по результатам работы самого устройства, поскольку они включают в себя характеристики совместной работы многих составляющих с разбросом собственных параметров функционирования. Кроме того, при расчете качественных показателей функционирования по известным аналитическим зависимостям могут возникать неточности как раз из-за неучета параметров реальных элементов, входящих в схему устройства.

Еще до этапа создания лабораторного образца прибора существует возможность оценить многие показатели эффективности работы устройств на математической модели, которая осуществляет имитацию работы реального устройства с большей степенью точности, чем возможно описать аналитическими зависимостями.

В пользу использования математического моделирования говорят еще меньшие затраты на получение результатов исследования работы устройства в аварийных режимах по сравнению с подобными исследованиями на лабораторных или опытных образцах.

В данной работе рассмотрены два подхода к изучению функционирования технических объектов с помощью моделирования. В первом разделе – непосредственно математическое моделирование, для реализации которого необходимо досконально представлять себе физику происходящих в объекте процессов. Реализуются посторонние математической модели в среде визуальной математики Simulink математического пакета Matlab. Во втором разделе рассмотрено построение математической модели исследуемого объекта в среде схемотехнического (имитационного) моделирования Micro-Cap (МС), которая позволяет без составления дифференциальных уравнений объекта строить его модель в виде принципиальной электрической схемы из моделей элементов, входящих в библиотеку или разработанных пользователем.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черевко А.И., Музыка М.М., Лимонникова Е.В. Схемотехническое и математическое моделирование полупроводниковых преобразователей, содержащих согласующие трансформаторы с вращающимися магнитными полями. Архангельск: АГТУ, 2005. 179 с.
2. Анисимов Я.Ф., Васильев Е.П. Электромагнитная совместимость полупроводниковых преобразователей и судовых электроустановок. Л.: Судостроение, 1990.
3. Полупроводниковые выпрямители / под ред. Ф.И. Ковалева и Г.П. Мостковой. М.; Л.: Энергия, 1978. 448 с.
4. Правила классификации и постройки морских судов / Российский морской регистр судоходства. СПб., 1999. Т. 2. 505 с.
5. Амелина М., Амелин С. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. М., 2007. 464 с.
6. Разевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7. М., 2003. 368 с.
7. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А. Силовая электроника. М.: Издат. дом МЭИ, 2009. 632 с.
8. Иванов В.А., Иванова Н.А., Шукалов В.Ф. Многофазные выпрямители на базе трансформаторов с вращающимся магнитным полем // Межвузовский сборник ЛЭТИ. Л., 1980. № 144. С. 120–123.
9. Сингаевский, Н.А Многофазный сварочный выпрямитель на основе ТВП // Научно-техн. сб. КубГАУ. Краснодар, 2005. С. 71–74.
10. Анисимов Я.Ф., Жук А.К. Сетевые фильтры в автономных электроэнергетических системах с тиристорными преобразователями // Проблемы преобразования параметров электрической энергии. Киев: Наукова думка, 1979. С. 134–141.
11. Гордеев Б. Н., Анисимов Я. Ф. Анализ энергетических показателей автономных электроэнергосистем с полупроводниковыми преобразователями // Техн. электродинамика. Киев, 1987. № 4. С. 44–46.
12. Черевко А.И., Музыка М.М. Исследование влияния управляемых выпрямителей с трансформаторами вращающегося магнитного поля на питающую сеть // Электротехника. 2008. № 10. С. 28–35.
13. Добрусин Л.А., Павлович А.Г. Компенсация воздействия вентильной нагрузки на питающую сеть // Проблемы технической электродинамики. 1974. Вып. 45. С. 161–187.
14. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987. 336 с.
15. Агунов М.В. Энергетические процессы в электрических цепях с несинусоидальными режимами и их эффективность. Кишинев; Тольятти: МолдНИИТЭИ, 1997. 84 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Оценка эффективности работы управляемого выпрямителя с транзисторным коммутатором на 8 пар силовых ключей на базе ТВМП в Matlab/Simulink .....	4
1.1. Аналитическое описание управляемого выпрямителя с транзисторным коммутатором на 8 пар силовых ключей .....	4
1.2. Модель управляемого выпрямителя на 8 пар силовых ключей в среде MatLab/Simulink .....	23
1.3. Качество выходного напряжения и тока УВ с ТВМП .....	46
2. Оценка эффективности работы управляемых выпрямителей с помощью моделей, разработанных в среде схемотехнического моделирования Micro-Cap .....	49
2.1. Создание моделей в системе схемотехнического моделирования Micro-Cap .....	49
2.1.1. Краткое описание среды моделирования .....	49
2.1.2. Построение принципиальной схемы .....	51
2.1.3. Анализ переходных процессов .....	55
2.1.4. Обработка данных, полученных при анализе переходных процессов .....	59
2.2. Разработка моделей классических схем управляемых выпрямителей .....	63
2.2.1. Модель однофазного мостового выпрямителя .....	63
2.2.2. Модель трехфазного мостового выпрямителя .....	67
2.3. Модели управляемых выпрямителей с согласующим трансформатором с вращающимся магнитным полем .....	75
2.3.1. Модели ТВМП .....	76
2.3.2. Модели силовой части УВ с ТВМП .....	81
2.3.3. Модели системы управления тиристорным коммутатором в составе УВ с ТВМП .....	83
2.3.4. Модель нагрузки УВ с ТВМП .....	84
2.4. Результаты анализа характеристик выпрямителей в среде имитационного моделирования .....	84
2.4.1. Исследование качества выпрямленного напряжения УВ с ТВМП в схемотехнических моделях .....	85
2.4.2. Исследование влияния УВ с ТВМП и классических УВ на качество питающего напряжения .....	92
2.4.3. Анализ энергетических характеристик УВ с ТВМП .....	101
Заключение .....	104
Список использованной литературы .....	105

Научное издание

**Музыка** Михаил Михайлович, **Лимонникова** Елена Владимировна,  
**Платоненков** Сергей Владимирович и др.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
РАБОТЫ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ  
МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
В MS И/ИЛИ MATLAB**

*Монография*

Редактор *Е.А. Зажигина*  
Оригинал-макет и дизайн обложки *Е.А. Банниковой*

Подписано в печать 03.06.2014. Формат 70×100/16.  
Усл. печ. л. 9,0. Тираж 100 экз. Заказ № 2288.

---

Издательский дом ФГАОУ ВПО САФУ  
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого д. 56

