

**УДК 004.438 ББК  
32.973.26-018.2  
Ч45**

**Черных И. В.**

**Ч45** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB.SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 288 с., ил. (Серия «Проектирование»).

**ISBN 978-5-97060-080-1**

В книге содержится описание прикладной программы Simulink и библиотеки блоков SimPowerSystems, предназначенной для моделирования электротехнических устройств и систем. Рассматривается методика создания моделей с помощью графического интерфейса программы, дается описание базовой библиотеки блоков SimPowerSystems, описаны методы расчета моделей. Подробно изложена методика создания электротехнических блоков пользователя. Даны основные команды для управления моделью из ядра пакета MATLAB. Рассмотрен механизм выполнения расчета модели. Даны советы автора по применению программы.

В издании дано большое количество примеров, поясняющих работу блоков и методику создания модели.

Книга предназначена для инженеров, научных работников, аспирантов и студентов, занимающихся моделированием в области электротехники.

Черных Илья Викторович

## **Моделирование электротехнических устройств в MATLAB SimPowerSystems и Simulink**

Главный редактор *Мовчан Д. А.*  
dmkpress@gmail.com

Корректор *Синяева Г. И.*

Верстка *Чаннова А. А.*

Дизайн обложки *Мовчан А. Г.*

Подписано в печать 23.11.2013  
Гарнитура «Петербург». Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 27. Тираж 200 экз.  
№

Издательство ДМК Пресс  
Web-сайт издательства: [www.dmkpress.com](http://www.dmkpress.com)

ISBN 978-5-97060-080-1

© Черных И. В.  
© Оформление, издание  
ДМК Пресс, 2014

# Краткое содержание

<b>Введение .....</b>	<b>10</b>
<b>Глава 1</b>	
<b>ОПЕРАЦИОННАЯ СРЕДА SIMULINK .....</b>	<b>11</b>
<b>Глава 2</b>	
<b>ОБЗОР ОСНОВНОЙ БИБЛИОТЕКИ SIMULINK .....</b>	<b>27</b>
<b>Глава 3</b>	
<b>БИБЛИОТЕКА БЛОКОВ SIMPOWERSYSTEMS .....</b>	<b>35</b>
<b>Глава 4</b>	
<b>ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ</b>	
<b>POWERGUI .....</b>	<b>215</b>
<b>Глава 5</b>	
<b>СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ БЛОКОВ</b>	
<b>ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ .....</b>	<b>238</b>
<b>Глава 6</b>	
<b>БИБЛИОТЕКА НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ .....</b>	<b>248</b>
<b>Глава 7</b>	
<b>ОСНОВНЫЕ КОМАНДЫ МАТЛАБ</b>	
<b>ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ SPS-МОДЕЛЬЮ .....</b>	<b>252</b>
<b>Глава 8</b>	
<b>КАК SIMPOWERSYSTEMS РАБОТАЕТ .....</b>	<b>260</b>
<b>Глава 9</b>	
<b>СОВЕТЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМ SIMPOWERSYSTEMS ....</b>	<b>266</b>
<b>Приложение 1</b>	
<b>СИСТЕМА МЕНЮ ОБОЗРЕВАТЕЛЯ</b>	
<b>БИБЛИОТЕК ПРОГРАММЫ SIMULINK .....</b>	<b>280</b>
<b>Приложение 2</b>	
<b>СИСТЕМА МЕНЮ ОКНА МОДЕЛИ .....</b>	<b>281</b>
<b>Литература .....</b>	<b>286</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>287</b>

# Содержание

<b>Введение .....</b>	<b>10</b>
<b>Глава 1. Операционная среда Simulink .....</b>	<b>11</b>
1.1. Запуск системы .....	12
1.2. Обзорщик библиотеки блоков Simulink .....	12
1.3. Создание модели .....	15
1.4. Основные элементы окна модели .....	17
1.5. Основные приемы подготовки и редактирования модели .....	20
Добавление текстовых надписей .....	20
Выделение объектов .....	20
Копирование и перемещение объектов в буфер хранения .....	21
Вставка объектов из буфера хранения .....	21
Удаление объектов .....	21
Соединение блоков .....	21
Изменение размеров блоков .....	22
Перемещение блоков и вставка блоков в соединение .....	23
Использование команд Undo и Redo .....	23
Форматирование объектов .....	23
1.6. Установка параметров моделирования и его выполнение .....	24
Установка параметров расчета модели .....	25
Выполнение расчета .....	26
Завершение работы .....	26
<b>Глава 2. Обзор основной библиотеки Simulink .....</b>	<b>27</b>
2.1. Источники сигналов Sources .....	28
2.2. Приемники сигналов Sinks .....	28
2.3. Блоки непрерывных моделей Continuous .....	28
2.4. Блоки дискретных моделей Discrete .....	29
2.5. Нелинейные блоки Discontinuities .....	29
2.6. Блоки математических операций Math Operations .....	30
2.7. Блоки маршрутизации сигналов Signal&Routing .....	31
2.8. Блоки определения свойств сигналов Signal Attributes .....	31
2.9. Блоки задания таблиц Look-Up Tables .....	32

2.10. Функции, определяемые пользователем User-defined Function .....	32
2.11. Порты и подсистемы Ports & Subsystems .....	32
2.12. Блоки верификации сигналов Model Verification .....	33
2.13. Библиотека дополнительных утилит Model-Wide Utilities ...	33
2.14. Блоки логических операций Logic and Bit Operations .....	33
2.15. Часто используемые блоки Commonly Used Blocks .....	34
2.16. Дополнительные математические и дискретные блоки Additional Math & Discrete .....	34

### **Глава 3. Библиотека блоков SimPowerSystems ... 35**

3.1. Состав библиотеки и основные особенности .....	36
3.1.1. Состав библиотеки .....	36
3.1.2. Основные особенности .....	37
3.1.3. Единицы измерения электрических и неэлектрических величин .....	39
3.1.4. Повышение скорости и точности расчетов .....	44
3.2. Источники электрической энергии Electrical Sources .....	47
3.2.1. Идеальный источник постоянного напряжения DC Voltage Source .....	47
3.2.2. Идеальный источник переменного напряжения AC Voltage Source .....	48
3.2.3. Идеальный источник переменного тока AC Current Source .....	50
3.2.4. Управляемый источник напряжения Controlled Voltage Source .....	52
3.2.5. Управляемый источник тока Controlled Current Source ...	54
3.2.6. Трехфазный источник напряжения 3-Phase Source .....	56
3.2.7. Трехфазный программируемый источник напряжения 3-Phase Programmable Voltage Source .....	58
3.3. Измерительные и контрольные устройства .....	61
3.3.1. Измеритель тока Current Measurement .....	61
3.3.2. Измеритель напряжения Voltage Measurement .....	63
3.3.3. Мультиметр Multimeter .....	65
3.3.4. Трехфазный измеритель Three-Phase V-I Measurement .....	68
3.3.5. Измеритель полного сопротивления Impedance Measurement .....	71

3.4. Электротехнические элементы Elements .....	73
3.4.1. Последовательная RLC-цепь Series RLC Branch .....	73
3.4.2. Параллельная RLC-цепь Parallel RLC Branch .....	75
3.4.3. Последовательная RLC-нагрузка Series RLC Load .....	77
3.4.4. Параллельная RLC-нагрузка Parallel RLC Load .....	80
3.4.5. Трехфазная последовательная RLC-цепь 3-Phase Series RLC Branch .....	82
3.4.6. Трехфазная параллельная RLC-цепь 3-Phase Parallel RLC Branch .....	84
3.4.7. Трехфазная последовательная RLC-нагрузка 3-Phase Series RLC Load .....	86
3.4.8. Трехфазная параллельная RLC-нагрузка 3-Phase Parallel RLC Load .....	88
3.4.9. Трехфазная динамическая нагрузка 3-Phase Dynamic Load .....	90
3.4.10. Грозозащитный разрядник Surge Arrester .....	93
3.4.11. Взаимная индуктивность Mutual Inductance .....	95
3.4.12. Трехфазная взаимная индуктивность 3-Phase Mutual Inductance Z1-Z0 .....	98
3.4.13. Выключатель переменного тока Breaker .....	99
3.4.14. Трехфазный выключатель переменного тока 3-Phase Breaker .....	102
3.4.15. Трехфазный короткозамыкатель 3-Phase Fault .....	104
3.4.16. Линия электропередачи с сосредоточенными параметрами PI Section Line .....	107
3.4.17. Трехфазная линия электропередачи с сосредоточенными параметрами 3-Phase PI Section Line .....	110
3.4.18. Линия электропередачи с распределенными параметрами Distributed Parameters Line .....	111
3.4.19. Силовой трансформатор без учета насыщения стали сердечника Linear Transformer .....	113
3.4.20. Силовой трансформатор с учетом насыщения стали сердечника Saturable Transformer .....	116
3.4.21. Трехфазный двухобмоточный трансформатор Three-phase Transformer (Two Windings) .....	120
3.4.22. Трехфазный трехобмоточный трансформатор Three-phase Transformer (Three Windings) .....	123

3.4.23. Трехфазный трансформатор без учета насыщения сердечника (12 выводов) Three-phase Linear Transformer (12-terminals) .....	126
3.4.24. Трехфазный трансформатор с первичной обмоткой, соединенной в зигзаг Zigzag Phase-Shifting Transformer .....	127
3.4.25. Многообмоточный трансформатор Multi-Winding Transformer .....	130
3.4.26. Трехфазный фильтр Three-Phase Harmonic Filter .....	134
3.4.27. Заземление Ground .....	135
3.4.28. Нейтраль Neutral .....	137
3.4.29. Клемма Connection Port .....	138
3.5. Элементы силовой электроники Power Electronics .....	139
3.5.1. Силовой диод Diode .....	139
3.5.2. Тиристор Thyristor, Detailed Thyristor .....	142
3.5.3. Полностью управляемый тиристор GTO Thyristor .....	145
3.5.4. Биполярный транзистор IGBT .....	148
3.5.5. Транзистор Mosfet .....	151
3.5.6. Идеальный ключ Ideal Switch .....	153
3.5.7. Универсальный мост Universal Bridge .....	156
3.5.8. Трехуровневый мост Three-Level Bridge .....	158
3.6. Электрические машины Machines .....	162
3.6.1. Машина постоянного тока DC Machine .....	162
3.6.2. Асинхронная машина Asynchronous Machine .....	167
3.6.3. Упрощенная модель синхронной машины Simplified Synchronous Machine .....	172
3.6.4. Синхронная машина Synchronous Machine .....	175
3.6.5. Синхронная машина с постоянными магнитами Permanent Magnet Synchronous Machine .....	179
3.6.6. Блок измерения переменных электрической машины Machines Measurement Demux .....	182
3.6.7. Система возбуждения синхронной машины Excitation System .....	185
3.6.8. Гидравлическая турбина с регулятором Hydraulic Turbine and Governor .....	188
3.6.9. Паровая турбина с регулятором Steam Turbine and Governor .....	190
3.6.10. Универсальный стабилизатор энергосистемы Generic Power System Stabilizer .....	196

3.6.11. Многополосный стабилизатор энергосистемы Multiband Power System Stabilizer .....	198
3.6.12. Однофазная асинхронная машина Single Phase Asynchronous Machine .....	202
3.6.13. Вентильный реактивный двигатель Switched Reluctance Motor .....	206
3.7. Модели для расчета векторным методом Phasor Elements .	209
3.7.1. Статический компенсатор реактивной мощности Static Var Compensator .....	209

## Глава 4. Графический интерфейс

<b>пользователя Powergui .....</b>	<b>215</b>
4.1. Расчет схемы векторным методом .....	218
4.2. Дискретизация модели .....	220
4.3. Расчет установившегося режима .....	221
4.4. Инициализация трехфазных схем, содержащих электрические машины .....	223
4.5. Использование Simulink LTI-Viewer для анализа электрических схем .....	226
4.6. Определение импеданса цепи .....	226
4.7. Гармонический анализ .....	228
4.8. Создание отчета .....	230
4.9. Инструмент расчета характеристики намагничивания ..	232
4.10. Расчет параметров линии электропередачи .....	234

## Глава 5. Создание электротехнических блоков

<b>пользователя .....</b>	<b>238</b>
5.1. Принцип создания электротехнических блоков пользователя .....	239
5.2. Модель нелинейного резистора .....	240
5.3. Модель насыщающегося реактора .....	241
5.4. Модель двигателя постоянного тока с независимым возбуждением .....	243
5.4.1. Математическое описание ДПТ НВ и его Simulink-модель .....	243
5.4.2. Модель двигателя на базе источника тока .....	244
5.4.3. Модель двигателя на базе источника напряжения ....	245

<b>Глава 6. Библиотека нелинейных моделей</b>	248
<b>Глава 7. Основные команды MATLAB для управления SPS-моделью</b>	252
7.1. Функция инициализации SPS-модели power_init	254
7.2. Функция для определения математической модели линейной части электрической схемы power_statespace	255
7.3. Функция для анализа модели электрической схемы power_analyze	258
7.4. Функция для расчета параметров линии электропередачи power_lineparam	259
<b>Глава 8. Как SimPowerSystems работает</b>	260
8.1. Алгоритм расчета SimPowerSystems-модели	261
8.2. Выбор метода интегрирования	263
8.3. Особенности моделирования схем силовой электроники	264
<b>Глава 9. Советы пользователям SimPowerSystems</b>	266
9.1. RLC «по-русски»	267
9.2. Задание начальных условий расчета	268
9.3. Модернизация блока Fourier	279
9.4. Особенности блока Breaker	271
9.5. Моделирование выбега электродвигателя	271
9.6. Модель операционного усилителя	272
9.7. Открытие и сохранение моделей ранних версий	276
9.8. Проведение серии вычислительных экспериментов	278
<b>Приложение 1. Система меню обозревателя библиотек программы Simulink</b>	280
<b>Приложение 2. Система меню окна модели</b>	281
<b>Литература</b>	286
<b>Предметный указатель</b>	287