

УДК 004.43
ББК 32.973.26 018.2
Ч-45

А

Черных, Илья Викторович.

Ч-45 Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. — 3-е изд., эл. — 1 файл pdf : 290 с. — Москва : ДМК Пресс, 2023. — (Серия «Проектирование»). — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-404-9

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.

УДК 004.43
ББК 32.973.26 018.2

Электронное издание на основе печатного издания: Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. — 2-е изд. — Москва : ДМК Пресс, 2014. — 288 с. — (Серия «Проектирование»). — ISBN 978-5-97060-080-1. — Текст : непосредственный.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-89818-404-9

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

А

Содержание

Введение	10
Глава 1. Операционная среда Simulink	11
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
Глава 2. Обзор основной библиотеки Simulink	27
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

8 Моделирование электротехнических устройств в MATLAB

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

пользователя Powergui	215
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

пользователя	238
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

Глава 6. Библиотека нелинейных моделей	248
Глава 7. Основные команды MATLAB для управления SPS-моделью	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
Глава 8. Как SimPowerSystems работает	260
8.1. Алгоритм расчета SimPowerSystems-модели	261
8.2. Выбор метода интегрирования	263
8.3. Особенности моделирования схем силовой электроники	264
Глава 9. Советы пользователям SimPowerSystems	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
Приложение 1. Система меню обозревателя библиотек программы Simulink	280
Приложение 2. Система меню окна модели	281
Литература	286
Предметный указатель	287