

С. Г. Герман-Галкин

MATLAB & SIMULINK

*Проектирование мехатронных
систем на ПК*

Учебное пособие для вузов



WWW.ULIT.RU

С. Г. Герман-Галкин

MATLAB & SIMULINK

*Проектирование
мехатронных систем на ПК*

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
для студентов высших и средних учебных заведений*



0836226 НТБ ТТИ ЮФУ

347822, Россия, Ростовская обл.,
г. Таганрог, ул. Чехова 22
Тел. (8634) 37-19-80
e-mail: ntb@ttti.yu.ru

**Санкт-Петербург
Издательство «Корона.Век»
2011**

ББК 31.21

УДК 004.415.2

Г 38

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, директор института систем управления, декан факультета
“Мехатроника и управление”, заведующий кафедрой “Мехатроника и робототехника” БГТУ
“ВОЕНМЕХ” им. Д.Ф. Устинова *Загашвили Юрий Владимирович*

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры
“Электротехника и электрооборудование судов” СПбГМТУ *Дмитриев Борис Федорович*

Герман-Галкин С. Г.

Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. — СПб.: Издательство
«Корона.Век», 2011. — 368 с., ил.

Книга представляет собой учебник по моделированию мехатронных систем в среде Matlab-Simulink. Приводится описание библиотек пакетов Simulink и Sim Power System, которые используются при исследовании мехатронных систем. Излагаются вопросы построения и модельного проектирования мехатронных систем постоянного и переменного тока.

Наша книга адресована студентам технических университетов и вузов, дипломникам, аспирантам, слушателям курсов повышения квалификации, инженерам-проектировщикам систем мехатроники, а также преподавателям, желающим использовать современные компьютерные технологии при разработке учебно-методических комплексов.

ISBN 978-5-7931-0884-3

БИБЛИОТЕКА
Технологический институт
ЮФУ в г.Таганроге

© Издательство «Корона.Век», 2011

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА ОПТОМ И В РОЗНИЦУ

Интернет-магазин «Учебная литература»: **WWW.ULIT.RU**

E-mail: **book@crowн.spb.ru, sk@crowн.spb.ru**

Оптовая торговля: (812)969-73-34, (812)494-69-00, (499)148-35-12

530.268

Сергей Германович Герман-Галкин

Matlab & Simulink

Проектирование мехатронных систем на ПК

Ответственный за выпуск *Катенин С.Б.* Верстка *Симанова А.С.* Обложка *Чиклаев А.А.*

Издательство «Корона.Век», 190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., д. 29.

Подписано в печать 01.08.2011. Формат 70x100/16

Бумага газетная. Печать офсетная. Объем 23 печ. л. Тираж 1500 экз. Заказ 1100

Отпечатано с готовых диапозитивов в ГУП “Типография “Наука”
199034, Санкт-Петербург, 9-я линия, д.12

Содержание

| | |
|---|----|
| Предисловие | 7 |
| Глава 1. | |
| Моделирование и мехатроника. Основные понятия | |
| 1.1. Моделирование, основные понятия и определения | 9 |
| 1.2. Мехатроника, основные понятия и определения | 13 |
| 1.2.1. Состав мехатронной системы | 14 |
| 1.3. Вопросы разработки моделей мехатронных систем | 15 |
| Глава 2. | |
| Пакет Simulink — визуальная среда проектирования мехатронных систем | |
| 2.1. Общие вопросы создания моделей в пакете Simulink | 19 |
| 2.1.1. Обзорщик разделов библиотек пакета Simulink | 19 |
| 2.1.2. Создание модели | 21 |
| 2.1.3. Установка параметров расчета и его выполнение | 23 |
| 2.1.4. Установка параметров обмена с рабочей областью | 25 |
| 2.1.5. Выполнение расчета | 26 |
| 2.2. Библиотеки пакета Simulink | 26 |
| 2.2.1. Sources — источники сигналов | 26 |
| 2.2.2. Sinks — приемники сигналов | 31 |
| 2.2.3. Continuous — аналоговые (непрерывные) блоки | 35 |
| 2.2.4. Discontinuities — нелинейные блоки | 39 |
| 2.2.5. Discrete — дискретные блоки | 42 |
| 2.2.6. Math — блоки математических операций | 45 |
| 2.2.7. Signal Routing — библиотека маршрутизации сигналов | 48 |
| Глава 3. | |
| Динамика объектов управления мехатронных систем | |
| 3.1. Математическое описание непрерывных объектов управления в мехатронных системах | 50 |
| 3.2. Математическое описание дискретных объектов управления в мехатронных системах | 52 |
| 3.3. Представление математического описания объектов управления мехатронных систем в пакете Control System Toolbox | 53 |
| 3.4. Представление математического описания объектов управления мехатронных систем в пакете Simulink | 57 |
| 3.5. Динамические характеристики объектов управления в Control System Toolbox | 57 |
| 3.6. Динамические характеристики объектов управления мехатронных систем в пакете Simulink | 60 |
| 3.7. Оценка качества и требования к динамическим характеристикам мехатронных систем | 68 |
| 3.7.1. Оценка качества по показателям переходного процесса в системе | 69 |
| 3.7.2. Оценки качества, основанные на анализе частотных характеристик | 70 |
| 3.7.3. Оценки качества, основанные на анализе распределения корней характеристического уравнения | 72 |
| 3.7.4. Интегральные оценки качества | 73 |
| 3.8. Регуляторы в мехатронных системах | 74 |
| 3.8.1. Методика синтеза регуляторов в мехатронной системе | 74 |
| 3.8.2. Синтез непрерывных регуляторов методом корневого годографа в пакете Control System Toolbox | 76 |
| 3.8.3. Синтез непрерывных регуляторов во временной и частотной областях в подчиненных структурах | 83 |
| 3.9. Преобразование непрерывных регуляторов к цифровым аналогам | 92 |
| 3.9.1. Метод параллельного программирования | 95 |

| | |
|---|-----|
| 3.9.2. Метод прямого программирования | 99 |
| 3.10. Динамические характеристики импульсного звена мехатронной системы | 101 |

Глава 4.

Элементы устройств силовой электроники в пакете Sim Power System

| | |
|---|-----|
| 4.1. Введение | 104 |
| 4.2. Пакет расширения Sim Power System | 105 |
| 4.2.1. Основные особенности создания моделей | 105 |
| 4.3. Библиотеки пакета Sim Power Systems 3 | 106 |
| 4.3.1. Electrical Sources — источники электрической энергии | 107 |
| 4.3.2. Elements — электротехнические элементы | 108 |
| 4.3.3. Power Electronics — устройства силовой электроники | 109 |
| 4.3.4. Measurements — измерительные и контрольные устройства | 110 |
| 4.3.5. Powerlib Extras — расширенные библиотеки | 110 |
| 4.4. Активные элементы силовых полупроводниковых преобразователей в пакете Sim Power System | 111 |
| 4.4.1. DC Voltage Source. Идеальный источник постоянного напряжения | 111 |
| 4.4.2. AC Voltage Source. Идеальный источник переменного (синусоидального) напряжения | 112 |
| 4.4.3. AC Current Source. Идеальный источник переменного (синусоидального) тока | 114 |
| 4.4.4. Controlled Voltage Source. Управляемый источник напряжения. Controlled Current Source. Управляемый источник тока | 115 |
| 4.4.5. 3-Phase Source. Трехфазный источник синусоидального напряжения | 117 |
| 4.5. Пассивные элементы силовых полупроводниковых преобразователей в Sim Power System .. | 119 |
| 4.5.1. Введение | 119 |
| 4.5.2. Series RLC Branch. Последовательная RLC-цепь. Parallel RLC Branch. Параллельная RLC-цепь. 3-Phase Series RLC Branch. Трехфазная последовательная RLC-цепь. 3-Phase Parallel RLC Branch. Трехфазная параллельная RLC-цепь | 119 |
| 4.5.3. Series RLC Load. Последовательная RLC-нагрузка. Parallel RLC Load. Параллельная RLC-нагрузка. 3-Phase Series RLC Load. Трехфазная последовательная RLC-нагрузка. 3-Phase Parallel RLC Load. Трехфазная параллельная RLC-нагрузка | 121 |
| 4.5.4. Breaker. Выключатель переменного тока. 3-Phase Breaker. Трехфазный выключатель переменного тока | 122 |
| 4.5.5. The Three-Phase Fault block. Трехфазный блок повреждений | 124 |
| 4.5.6. Трансформаторы | 126 |
| 4.5.7. Three-phase Transformer (Three Windings). Трехфазный трехобмоточный трансформатор | 129 |
| 4.6. Полупроводниковые элементы силовых полупроводниковых преобразователей в пакете Sim Power System | 131 |
| 4.6.1. Классификация полупроводниковых приборов преобразователей | 131 |
| 4.6.2. Силовые полупроводниковые диоды | 132 |
| 4.6.3. Тиристор | 135 |
| 4.6.4. Полностью управляемые GTO тиристоры | 141 |
| 4.6.5. Биполярные IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) транзисторы | 143 |
| 4.6.6. Полевые MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) транзисторы ... | 147 |
| 4.6.7. Интегрально-модульные конструкции в Sim Power System | 148 |

Глава 5.

Модельное исследование устройств силовой электроники

| | |
|---|-----|
| 5.1. Введение | 151 |
| 5.2. Силовые полупроводниковые преобразователи в системах мехатроники | 152 |
| 5.3. Основные характеристики устройств силовой электроники | 153 |
| 5.4. Управляемые выпрямители | 155 |

| | |
|---|-----|
| 5.4.1. Вводные замечания | 155 |
| 5.4.2. Однофазный управляемый выпрямитель | 155 |
| 5.4.3. Управляемый выпрямитель в режиме инвертора, ведомого сетью | 161 |
| 5.4.4. Трехфазные управляемые выпрямители | 163 |
| 5.4.5. Высшие гармоники первичного тока управляемых выпрямителей | 165 |
| 5.4.6. Энергетические и электромагнитные характеристики управляемых выпрямителей | 166 |
| 5.4.7. Моделирование управляемого выпрямителя (УВ) | 167 |
| 5.5. Преобразователи постоянного напряжения | 173 |
| 5.5.1. Одноплечевой ШИП с симметричным законом управлением | 173 |
| 5.5.2. Одноплечевой широтно-импульсный преобразователь с релейным регулированием тока | 175 |
| 5.5.3. Мостовой широтно-импульсный преобразователь | 176 |
| 5.6. Аналитическое представление электромагнитных и энергетических характеристик широтно-импульсных преобразователей | 179 |
| 5.7. Моделирование мостового широтно-импульсного преобразователя с поочередным законом управления в установившихся режимах | 181 |
| 5.8. Динамические модели ШИП в системах мехатроники | 187 |
| 5.9. Автономные инверторы | 189 |
| 5.9.1. Вводные замечания | 189 |
| 5.9.2. Однофазные инверторы | 189 |
| 5.9.3. Трехфазные автономные инверторы | 194 |
| 5.9.4. Многоуровневые инверторы | 202 |
| 5.10. Основные характеристики инверторов | 204 |
| 5.11. Моделирование трехфазного инвертора | 205 |
| 5.12. Модельное проектирование вторичных источников питания для силовых полупроводниковых преобразователей | 209 |
| 5.12.1. Расчетная схема мехатронной подсистемы «сеть — вторичный источник питания — силовой полупроводниковый преобразователь — электрическая машина» | 209 |
| 5.12.2. Выпрямитель с фильтром в качестве ВИП | 211 |
| 5.12.3. Выпрямитель с цепью сброса энергии в качестве ВИП | 214 |
| 5.12.4. Выпрямитель с широтно-импульсным стабилизатором в качестве ВИП | 217 |
| 5.12.5. Сетевой трехфазный инвертор (активный выпрямитель) с синусоидальной ШИМ в качестве ВИП | 220 |

Глава 6.

Электрические машины в пакете Sim Power System

| | |
|---|-----|
| 6.1. Математическое описание и модели машины постоянного тока в пакете Sim Power System | 228 |
| 6.2. Математическое описание и модели асинхронных машин в пакете Sim Power System | 233 |
| 6.3. Математическое описание и модели синхронных машин в пакете Sim Power System | 239 |
| 6.3.1. Магнитоэлектрическая синхронная машина | 239 |
| 6.3.2. Шаговые двигатели | 244 |

Глава 7.

Модельное проектирование мехатронных систем постоянного тока

| | |
|---|-----|
| 7.1. Математическое описание, структурные схемы и модели двигателя постоянного тока | 246 |
| 7.2. Синтез регуляторов в одноконтурной скоростной системе постоянного тока | 249 |
| 7.3. Синтез регуляторов в двухконтурной скоростной системе постоянного тока | 256 |
| 7.4. Синтез регуляторов в следящей системе постоянного тока | 261 |
| 7.5. Синтез регуляторов в следящей робототехнической системе постоянного тока | 263 |
| 7.6. Виртуальная модель одноконтурной скоростной системы постоянного тока с ШИП | 270 |

| | |
|--|-----|
| 7.7. Виртуальная модель двухконтурной скоростной системы постоянного тока с ШИП | 272 |
| 7.8. Исследование статических характеристик системы постоянного тока на виртуальной модели | 273 |
| 7.9. Имитационные лабораторные стенды систем постоянного тока в пакете Sim Power System | 275 |
| 7.10. Алгоритм проектирования системы постоянного тока с силовыми полупроводниковыми преобразователями | 282 |

Глава 8.

Модельное проектирование асинхронных мехатронных систем

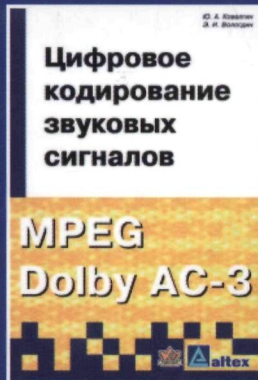
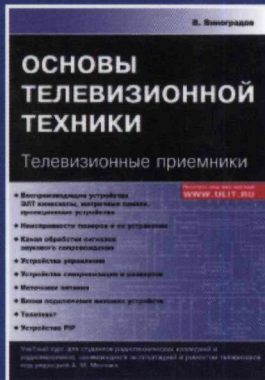
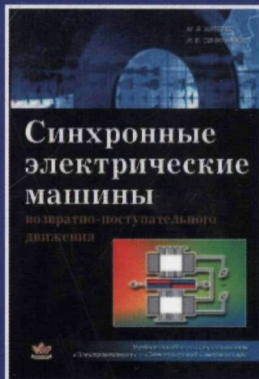
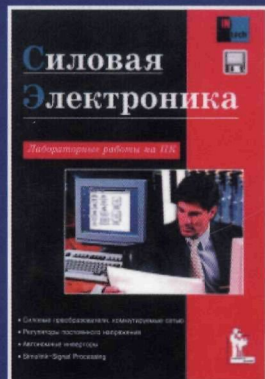
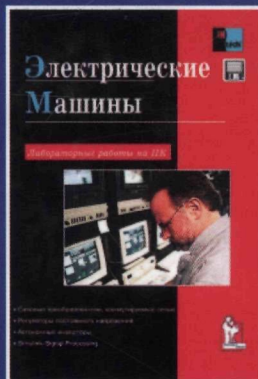
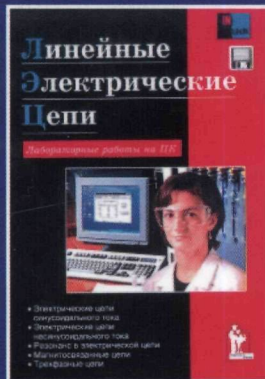
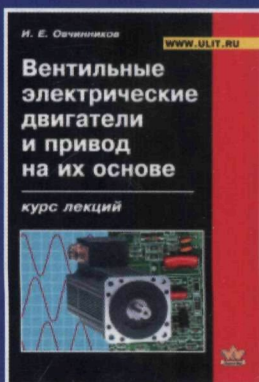
| | |
|---|-----|
| 8.1. Математическое описание, структурные и виртуальные схемы и моделирование обобщенной асинхронной машины | 282 |
| 8.1.1. Асинхронная машина с короткозамкнутым ротором | 287 |
| 8.1.2. Анализ АКЗ в неподвижной системе координат | 288 |
| 8.1.3. Анализ АКЗ во вращающейся системе координат | 291 |
| 8.2. Структурные модели асинхронных систем с частотным управлением | 296 |
| 8.3. Структурные модели асинхронных систем с частотно-токовым управлением | 303 |
| 8.4. Структурные модели замкнутых асинхронных систем с векторным управлением | 305 |
| 8.4.1. Частотная асинхронная система с векторным управлением | 305 |
| 8.4.2. Частотно-токовая асинхронная система с векторным управлением | 308 |
| 8.5. Виртуальная частотно-токовая асинхронная система с векторным управлением | 311 |
| 8.6. Электромагнитные процессы в замкнутой асинхронной системе | 314 |
| 8.7. Имитационные лабораторные стенды асинхронных систем в пакете Sim Power System | 316 |

Глава 9.

Модельное проектирование синхронных мехатронных систем

| | |
|--|-----|
| 9.1. Введение | 324 |
| 9.2. Математическое описание, структурная схема и модель вентильного двигателя в неподвижной системе координат с безынерционным каналом ДПР-ПК | 325 |
| 9.3. Математическое описание, структурные схемы и модели вентильного двигателя во вращающейся системе координат с безынерционным каналом ДПР-ПК | 330 |
| 9.4. Анализ влияния перекрестных связей в ВД | 332 |
| 9.5. Статические характеристики ВД при питании от источника напряжения | 335 |
| 9.6. Датчики положения ротора и преобразователи координат, выполненные на вращающихся трансформаторах | 336 |
| 9.7. Математическое описание, структурные схемы и модели вентильного двигателя с инерционным каналом ДПР-ПК-АИ | 339 |
| 9.8. Статические характеристики ВД с инерционным каналом ДПР-ПК-АИ | 344 |
| 9.9. Исследование виртуальной модели ВД с безынерционным каналом ДПР-ПК и инвертором с синусоидальной ШИМ | 346 |
| 9.10. Исследование виртуальной модели ВД с инерционным каналом ДПР-ПК и инвертором с синусоидальной ШИМ | 351 |
| 9.11. Синтез регуляторов в двухконтурной скоростной системе с вентильным двигателем во вращающейся системе координат с безынерционным каналом ДПР-ПК | 352 |
| 9.12. Синтез регуляторов в двухконтурной скоростной системе с вентильным двигателем с инерционным каналом ДПР-ПК | 358 |
| 9.13. Синтез регуляторов в двухконтурной синхронной скоростной виртуальной системе | 361 |
| 9.14. Виртуальная одноконтурная скоростная система с бесконтактным двигателем постоянного тока | 362 |
| Литература | 366 |

Издательство «Корона.Век» предлагает



Книги издательства оптом и в розницу

Интернет-магазин: WWW.ULIT.RU

E-mail: book@ulit.ru

Оптовая торговля (812) 969-73-34,

Ростовкнига (812) 494-69-00, (499) 148-35-12

190005, Санкт-Петербург,

пр., дом 29 «Корона.Век»

978-5-7931-0884-3



Ростовкнига
 ISBN 5-136
 2 710245 102015
 ATLAS & Simulink. Проектир. ме.
 Цена 490.00