

Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW

Книга посвящается моему учителю и научному руководителю А.Н. Лебедеву. А.Н. Лебедев внес значительный научный вклад в развитие теории подобия и моделирования, разработку методов анализа устойчивости и точности систем автоматического управления.

Материал книги является учебным курсом по модельному проектированию динамических систем в инструментальной среде LabVIEW. Значительная часть книги посвящена математическому моделированию физических процессов и технических систем. Приведен математический аппарат исследования подобных систем, рассмотрены методы их анализа во временной и частотной областях. Рассмотрены новые методы описания интегрирующих структур, ориентированные на аппаратную реализацию моделирующих и управляющих устройств в реальном масштабе времени. Для таких структур впервые приведены математические выражения, обеспечивающие коррекцию методической погрешности численных методов интегрирования. Излагается методика модельного проектирования управляемых систем с использованием пакетов расширения LabVIEW: Control Design and Simulation Module, Real-Time Module, MathScript RT Module, FPGA Module.

Книга может быть полезна студентам соответствующих специальностей технических университетов и вузов, дипломникам и аспирантам, слушателям курсов повышения квалификации, а также инженерам-проектировщикам встраиваемых систем управления.



На DVD представлена 30-дневная версия среды графического проектирования LabVIEW 2010, а также примеры компьютерных моделей, рассмотренных в книге.



Жуков Константин Георгиевич - к.т.н., доцент кафедры Систем автоматизированного проектирования (САПР) Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета (ЛЭТИ). Является специалистом в области модельного проектирования динамических систем и аппаратной реализации цифровых дифференциальных анализаторов (решателей ОДУ). Руководит учебно-научным центром «Компьютерные технологии инжиниринга», авторизованным National Instruments Russia в 2008 году. Научно-педагогический стаж работы составляет более сорока лет. В последних разработках встраиваемых систем широко применяет методологию модельного проектирования на основе парадигмы виртуализации и оборудования National Instruments.

Internet-магазин: www.aliants-kniga.ru

Книга – почтой:
Россия, 123242, Москва, а/я 20
e-mail: books@aliants-kniga.ru

Оптовая продажа: «Альянс-книга»
Тел./факс: (495) 258-9195
e-mail: books@aliants-kniga.ru



ISBN 978-5-94074-673-7



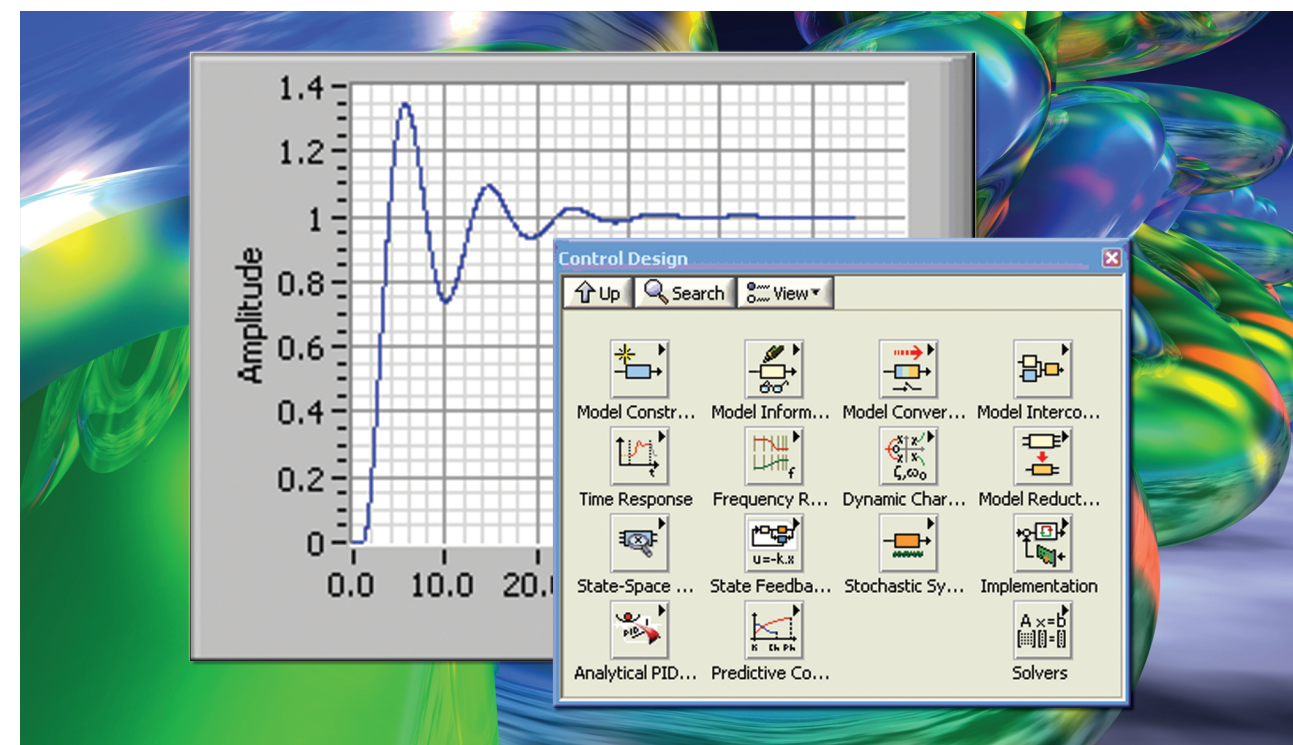
9 785940 746737 >



Модельное проектирование
встраиваемых систем
в LabVIEW



Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW



Жуков К. Г.

DVD содержит:

- 30-дневную версию среды графического проектирования LabVIEW 2010;
- примеры компьютерных моделей, рассмотренных в книге



К. Г. Жуков

Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW



Москва, 2011

УДК 004.438LabVIEW:004.415.2

ББК 32.973.26-108.1

Ж86

Жуков К. Г.
Ж86 Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 688 с.

ISBN 978-5-94074-673-7

Материал книги является учебным курсом по модельному проектированию динамических систем в инструментальной среде LabVIEW. Значительная часть книги посвящена математическому моделированию физических процессов и технических систем. Приведен математический аппарат исследования подобных систем, рассмотрены методы их анализа во временной и частотной областях. Рассмотрены новые методы описания интегрирующих структур, ориентированные на аппаратную реализацию моделирующих и управляющих устройств в реальном масштабе времени. Для таких структур впервые приведены математические выражения, обеспечивающие коррекцию методической погрешности численных методов интегрирования. Излагается методика модельного проектирования управляемых систем с использованием пакетов расширения LabVIEW: Control Design and Simulation Module, Real-Time Module, MathScript RT Module, FPGA Module.

На компакт-диске представлена 30-дневная версия среды графического проектирования LabVIEW 2010, а также примеры компьютерных моделей, рассмотренных в разделах книги.

Книга может быть полезна студентам соответствующих специальностей технических университетов и вузов, дипломникам и аспирантам, слушателям курсов повышения квалификации, а также инженерам-проектировщикам встраиваемых систем управления.

УДК 004.438LabVIEW:004.415.2

ББК 32.973.26-108.1

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.

ISBN 5-978-94074-673-7

© Жуков К. Г., 2011
© Оформление, ДМК Пресс, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

▼ Часть I

Моделирование динамических систем	13
--	-----------

▼ 1

Современное состояние проблемы моделирования систем	13
1.1.1. Основные понятия и определения	14
1.1.2. Классификация видов моделирования	16
1.1.3. Использование моделирования при исследовании и проектировании систем	19
1.1.3.1. Особенности модель-ориентированного проектирования	20
1.1.4. Перспективы развития методов и средств моделирования	29
Выводы	40
1.1.5. Ссылки	40

▼ 2

Математическое моделирование динамических систем и процессов	42
1.2.1. Введение в дифференциальные уравнения и математические модели	42
1.2.2. Интегралы в качестве общих и частных решений	47
1.2.3. Матрицы и линейные системы первого порядка	51
1.2.4. Метод собственных значений для однородных систем	69

1.2.5. Экспоненциальная функция от матрицы	
и линейные системы	86
Фундаментальные матричные решения	87
1.2.6. Линейные уравнения второго порядка	102
1.2.7. Общие решения линейных уравнений n-го порядка	114
1.2.8. Однородные уравнения с постоянными коэффициентами	124
1.2.9. Дифференциальные уравнения механических систем	133
1.2.10. Неоднородные уравнения и метод неопределенных	
коэффициентов	145
1.2.11. Неоднородные линейные системы	158
1.2.12. Методы преобразования Лапласа	164
1.2.12.1. Преобразования Лапласа и оригиналы функций	
(обратные преобразования)	164
1.2.12.2. Применение преобразования Лапласа к задачам Коши	174
1.2.12.3. Дополнительные методы преобразования Лапласа	182
1.2.12.4. Сдвиг и элементарные дроби	185
1.2.12.5. Производные, интегралы и произведения преобразований ...	192
1.2.12.6. Периодические и кусочно-непрерывные входные функции	198
1.2.12.7. Импульсы и дельта-функции	208
1.2.12.8. Системный анализ и принцип Дюамеля	216
1.2.13. Численные методы решения уравнений	218
1.2.13.1. Метод Эйлера	220
1.2.13.2. Анализ погрешности метода Эйлера	229
1.2.13.3. Усовершенствованный метод Эйлера	231
1.2.13.4. Метод Рунге-Кутты	238
1.2.14. Ссылки	246

▼ Часть II

Методы и модели автоматического управления	247
---	------------

▼ 1

Математическое моделирование при проектировании	
систем управления	248
2.1.1. Введение	248
2.1.2. Обоснование сложности описания моделей	248

2.1.3. Создание моделей	250
2.1.4. Способы описания моделей	251
2.1.5. Модели пространства состояний	251
2.1.6. Линейные модели пространства состояний	252
2.1.7. Аналитическое решение непрерывных моделей пространства состояний.....	254
2.1.8. Модели с дифференциальными и разностными уравнениями произвольного порядка	255
2.1.9. Ошибки моделирования	256
2.1.10. Линеаризация нелинейных систем	257
2.1.11. Выводы	261
2.1.12. Ссылки	262

▼ 2

Основы моделирования управляемых систем	262
2.2.1. Физический подход к моделированию систем	263
2.2.1.1. Введение	263
2.2.1.2. Механические системы	264
2.2.1.3. Электромагнитные цепи	267
2.2.1.4. Баланс массы	273
2.2.1.5. Уравнения сохранения энергии	276
2.2.2. Описание систем во временной и частотной областях	277
2.2.2.1. Уравнения состояния	278
2.2.2.2. Описание линейной системы в пространстве состояний	280
2.2.2.3. Описание в виде отношений входных и выходных переменных	282
2.2.2.4. Нелинейные системы	285
2.2.2.5. Численное моделирование динамических систем	287

▼ 3

Способы описания линейных непрерывных систем	290
2.3.1. Передаточные функции и методы преобразования Лапласа	291
2.3.1.1. Модели в виде дифференциальных уравнений произвольного порядка	295

2.3.1.2. Передаточные функции для непрерывных моделей в пространстве состояний	295
2.3.1.3. Устойчивость передаточных функций	298
2.3.2. Реакция линейных систем на импульсные и ступенчатые сигналы	298
2.3.3. Полюсы, нули и временные характеристики	300
2.3.3.1. Полюсы	301
2.3.3.2. Нули	304
2.3.4. Частотная характеристика	308
2.3.4.1. Диаграммы Боде	310
2.3.4.2. Фильтрация	312
2.3.4.3. Искажения и точность воспроизведения	314
2.3.5. Преобразование Фурье	314
2.3.5.1. Определение преобразования Фурье	315
2.3.5.2. Применения преобразований Фурье	315
2.3.6. Часто встречающиеся модели	318
2.3.7. Ошибки моделирования линейных систем	320
2.3.8. Выводы	324
2.3.9. Ссылки	328

▼ 4

Способы описания дискретных систем	328
2.4.1. Введение	329
2.4.2. Квантование	330
2.4.3. Восстановление сигнала	331
2.4.4. Линейные дискретные модели	332
2.4.5. Оператор сдвига	332
2.4.6. Z-преобразование	333
2.4.7. Дискретные передаточные функции	335
2.4.8. Дискретные модели и дельта-форма	337
2.4.9. Дискретное дельта-преобразование	339
2.4.10. Дискретные передаточные функции (форма дельта-преобразования)	343
2.4.11. Передаточные функции и импульсные характеристики	343
2.4.12. Устойчивость дискретных систем	344
2.4.12.1. Связь с полюсами	344

2.4.12.2. Устойчивость в дельта-области	344
2.4.13. Дискретные модели для квантованных непрерывных систем	344
2.4.13.1. Использование моделей непрерывных передаточных функций	345
2.4.14. Использование непрерывной модели пространства состояний	347
2.4.14.1. Результат в форме оператора сдвига	348
2.4.14.2. Результат в форме дельта-оператора	348
2.4.14.3. Некоторые сравнения формы оператора сдвига и дельта-оператора	348
2.4.15. Частотные характеристики импульсных систем	349
2.4.16. Выводы	351
2.4.17. Ссылки	354

▼ 5

Структуры управляемых систем на основе ПИД-регуляторов	355
2.5.1. Введение	355
2.5.2. Аналоговые и дискретные регуляторы	356
2.5.2.1. Квантование сигналов	356
2.5.2.2. Проектирование аналоговых и дискретных регуляторов	357
2.5.3. Релейное управление	358
2.5.4. Аналоговые регуляторы	359
2.5.4.1. Простые регуляторы	360
2.5.4.2. Упреждающее управление по опорному значению	361
2.5.4.3. Обобщенный регулятор	362
2.5.4.4. Упреждающее управление по изменению нагрузки и возмущению	366
2.5.5. Основные принципы разработки структур управления	369
2.5.6. Аналоговый ПИД-регулятор	371
2.5.6.1. Основное уравнение ПИД-регулятора	371
2.5.6.2. Дифференцирование измерительного сигнала	374
2.5.6.3. Каскадное соединение регуляторов	375
2.5.6.4. ПИ2-регулятор	376
2.5.6.5. Другие виды параметризации ПИД-регулятора	377
2.5.7. Реализация ПИД-регулятора	378

2.5.6.1. Дискретная модель ПИД-регулятора	378
2.5.7.2. Определение частоты выборки в системах управления	381
2.5.7.3. Ограничение управляющего сигнала	382
2.5.7.4. Предотвращение интегрального насыщения	382
2.5.7.5. Плавный переход при изменении режима работы регулятора	386
2.5.7.6. Ограничение скорости изменения управляющего сигнала	387
2.5.7.7. Вычислительные особенности алгоритма ПИД-регулятора	388
2.5.7.8. Алгоритм ПИД-регулятора	390
2.5.8. Управляющие структуры, основанные на ПИД-регуляторах	391
2.5.8.1. Каскадное управление	391
2.5.8.2. Селективное управление	393
2.5.9. Границы применения ПИД-регуляторов	394
2.5.9.1. Временные задержки	394
2.5.9.2. Системы со сложной динамикой	398
2.5.9.3. Предсказуемые изменения параметров – табличное управление усилением	398
2.5.9.4. Самонастраивающееся управление	399
2.5.9.5. Системы с несколькими входами и выходами	400
2.5.10. Обобщенный линейный дискретный регулятор	400
2.5.10.1. Описание обобщенного регулятора с помощью оператора сдвига	401
2.5.10.2. Свойства обобщенного регулятора	402
2.5.10.3. Варианты обобщенного дискретного регулятора	405
2.5.10.4. Критерии качества дискретного регулятора	407
2.5.11. Реализация обобщенного дискретного регулятора	408
2.5.11.1. Пересчет параметров	409
2.5.11.2. Предотвращение интегрального насыщения обобщенного дискретного регулятора	409
2.5.11.3. Плавный переход от ручного управления к автоматическому	410
2.5.11.4. Вычислительные особенности алгоритма обобщенного регулятора	410
2.5.12. Обратная связь по переменным состояния	411
2.5.13. Выводы	412
2.5.14. Ссылки	414