

УДК 32.973.26-018.2

ББК 32.844-02

Д93

А

Дьяконов, Владимир Павлович.

Д93 MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров / В. П. Дьяконов. — 2-е изд., эл. — 1 файл pdf : 977 с. — Москва : ДМК Пресс, 2023. — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-616-6

Книга посвящена применению матричной системы MATLAB в радиотехнических расчетах и в моделировании радиоэлектронных устройств и систем. Впервые описаны новейшие версии MATLAB с пакетами расширения Simulink, Signal Processing Toolbox, Filter Design Toolbox, RF Toolbox и Blockset, Wavelet Toolbox, Control Systems, SimPowerSystems и др. Описаны новейшие пакеты Simscape и SimElectronics моделирования электронных схем. Наряду с функциями командного режима работы описан интерактивный и визуально-ориентированный инструментарий пакетов с графическим интерфейсом пользователя GUI и математическое моделирование систем и устройств в среде Simulink. Описана интеграция MATLAB с современными цифровыми радиоизмерительными приборами и виртуальными лабораториями для управления приборами и обработки реальных осциллограмм. Для научных работников, инженеров в области обработки и фильтрации сигналов и изображений, студентов и преподавателей университетов и вузов.

УДК 32.973.26-018.2

ББК 32.844-02

Электронное издание на основе печатного издания: MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров / В. П. Дьяконов. — Москва : ДМК Пресс, 2016. — 976 с. — ISBN 978-5-97060-345-1. — 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 978-5-89818-616-6

© Дьяконов В. П.

© Оформление, издание, ДМК Пресс

А

Оглавление

Введение	33
Предупреждения	40
Благодарности	41
Адреса для переписки	41
Глава 1. Работа с MATLAB и SIMULINK	43
1.1. Назначение и особенности системы MATLAB	44
1.1.1. Назначение системы MATLAB	44
1.1.2. Особенности версии MATLAB 7.* + Simulink 6.* / 7.*	45
1.1.3. Особенности реализации версий MATLAB R2007a,b	46
1.1.4. Особенности реализации версий MATLAB R2008a,b	47
1.1.5. Особенности реализации версии MATLAB R2009a	47
1.2. Установка и файловая система MATLAB 7.*	48
1.2.1. Системные требования к установке	48
1.2.2. Инсталляция системы MATLAB R2007	49
1.2.3. Инсталляция системы MATLAB R2008/R2009	51
1.2.4. Файловая система MATLAB	53
1.3. Общие возможности MATLAB	53
1.3.1. Интеграция с другими программными системами	53
1.3.2. Ориентация на матричные операции	54
1.3.3. Расширяемость системы	55
1.3.4. Мощные средства программирования	56
1.3.5. Визуализация и графические средства	56
1.4. Начало работы с MATLAB R2008a	57
1.4.1. Запуск MATLAB и работа в режиме диалога	57
1.4.2. Классический интерфейс MATLAB	58
1.4.3. MATLAB в роли мощного научного калькулятора	59
1.4.4. Перенос строки в сессии	60
1.4.5. Запуск примеров применения MATLAB из командной строки	61

1.4.6. Ввод и вычисление математических выражений	62
1.5. Типы данных	62
1.5.1. Действительные числа и их форматы	62
1.5.2. Комплексные числа и функции работы с ними	63
1.5.3. Константы и системные переменные	64
1.5.4. Работа с массивами, векторами и матрицами	65
1.5.5. Текстовые комментарии	68
1.5.6. Переменные и работа с ними	68
1.5.7. Операторы и функции	69
1.5.8. Применение оператора : (двоеточие) числовой последовательности	71
1.5.9. Сообщения об ошибках и исправление ошибок	73
1.6. Элементы программирования с среде MATLAB	74
1.6.1. Функции пользователя	74
1.6.2. Управляющие структуры	75
1.6.3. Файлы-сценарии и файлы-функции	78
1.6.4. Основы работы с редактором файлов	81
1.7. Операции с рабочей областью, текстом сессии и редактором m-файлов	82
1.7.1. Дефрагментация рабочей области	82
1.7.2. Сохранение рабочей области сессии	83
1.7.3. Ведение дневника	83
1.7.4. Загрузка рабочей области сессии	85
1.7.5. Завершение вычислений и работы с системой	85
1.8. Графика системы MATLAB	86
1.8.1. Особенности графики системы MATLAB	86
1.8.2. Графики функций одной переменной	87
1.8.3. Построение графиков функций двух переменных (3D-типа)	89
1.8.4. Форматирования и редактирование графиков	92
1.9. Специальные средства графики	97
1.9.1. Обработка данных в графическом окне	97
1.9.2. Полиномиальная регрессия для табличных данных	97
1.9.3. Оценка погрешности аппроксимации	99

1.9.4. Расширенные возможности окна приближения кривых	101
1.9.5. Сплайновая и эрмитовая интерполяции в графическом окне	101
1.9.6. Графики разного типа в одном окне	103
1.9.7. Низкоуровневая дескрипторная графика	105
1.10. Работа со справкой и демонстрационными примерами MATLAB	106
1.10.1. Запуск справочной системы Help Desk	106
1.10.2. Работа с демонстрационными примерами	108
1.11. Пакет блочного имитационного моделирования Simulink	109
1.11.1. Доступ к пакету расширения Simulink	109
1.11.2. Построение диаграмм моделей в Simulink	111
1.11.3. Запуск моделей Simulink из среды MATLAB	114
1.11.4. Особенности интерфейса Simulink	114
1.11.5. Поиск и загрузка модели	115
1.11.6. Установка параметров компонентов модели и моделирования	116
1.11.7. Запуск процесса моделирования	118

Глава 2. Расчет цепей и моделирование сигналов

119

2.1. Символьные расчеты простых электронных цепей	120
2.1.1. Пакет символьной математики Symbolic Math Toolbox(tm)	120
2.1.2. Символьные функции и переменные	123
2.1.3. Символьные матричные операции	126
2.1.4. Символьные функции математического анализа	131
2.1.5. Символьные интегральные преобразования	138
2.1.6. Задачи на комбинированное соединение компонентов	143
2.1.7. Расчет передачи энергии от двух источников постоянного тока	144

2.1.8. Пример применения метода узловых потенциалов	145
2.1.9. Расчет мостовой схемы методом контурных токов	146
2.1.10. Примеры расчета цепей на переменном токе	147
2.1.11. Примеры расчета переходных процессов в <i>RC</i> -цепях	147
2.1.12. Применение интеграла Дюамеля	150
2.1.13. Расчет переходных процессов включения реле	151
2.1.14. Расчет и построение АЧХ и ФЧХ электрических цепей	152
2.2. Представление сигналов и зависимостей	155
2.2.1. Сигналы и их виды	155
2.2.2. Примеры моделирования сигналов средствами ядра MATLAB	157
2.2.3. Аппроксимация и интерполяция нелинейных зависимостей	161
2.2.4. Фурье-интерполяция периодических функций	168
2.2.5. Прохождение сигналов через искажающие устройства	169
2.2.6. Быстрые прямое и обратное преобразования Фурье	170
2.3. Начало работы с пакетом Signal Processing Toolbox	175
2.3.1. Назначение пакета Signal Processing Toolbox 6.0/6.1	175
2.3.2. Общепринятые сокращения и условные обозначения ...	176
2.3.3. Установка пакета Signal Processing Toolbox	177
2.3.4. Информационная поддержка пакета Signal Processing Toolbox	178
2.4. Работа с комплексными числами и массивами	181
2.4.1. Вычисление модуля комплексного числа — <i>abs</i>	181
2.4.2. Вычисление фазы комплексного числа — <i>angle</i>	182
2.4.3. Группирование комплексных чисел — <i>cplxpair</i>	182
2.4.4. Преобразование в инверсный битовый порядок — <i>bitrevorder</i>	183
2.4.5. Функция удаления элементов в массиве <i>downsample</i> ...	183
2.4.6. Добавление элементов в массив <i>upsample</i>	184
2.4.7. Дискретная фильтрация	185

2.5. Функции Signal Processing для моделирования сигналов	188
2.5.1. Косинусоида с переменной частотой — chirp	188
2.5.2. Функция Дирихле — diric	190
2.5.3. Синусоида, модулированная функцией Гаусса — gausspuls	191
2.5.4. Генерация Гауссового моноимпульса — gmonopuls	192
2.5.5. Генерация импульсов — pulstran	193
2.5.6. Генерация пилообразного или треугольного колебания — sawtooth	194
2.5.7. Функция sinc и интерполяция сигнала	195
2.5.8. Генерация прямоугольных импульсов — square	196
2.5.9. Генерация апериодических треугольных импульсов — tripuls	197
2.5.10. Управляемый напряжением источник — vco	198
2.6. Функции задания окон	199
2.6.1. Назначение окон	199
2.6.2. Задание окна Бартлетта — bartlett	200
2.6.3. Задание окна Блэкмана — blackman	200
2.6.4. Задание прямоугольного окна — boxcar	201
2.6.5. Задание окна Чебышева — chebwin	201
2.6.6. Задание окна Хэмминга — hamming	201
2.6.7. Задание окна Хэннинга — hanning	202
2.6.8. Задание окна Кайзера — kaizer	202
2.6.9. Создание треугольного окна — triang	203
2.6.10. Новые функции задания окон	203
2.6.11. Обобщенная функция задания окон — window	204
2.6.12. Построение графиков амплитудного спектра окон	204
2.6.13. Применение выювера окон VVTool	206
2.7. Изменение частоты дискретизации сигналов	206
2.7.1. Децимация — decimate	206
2.7.2. Интерполяция сигналов — interp	208
2.7.3. Рациональное изменение частоты дискретизации — resample	210
2.8. Модуляция и демодуляция сигналов	212

2.8.1. Создание модулированных сигналов — modulate	212
2.8.2. Демодуляция сигналов — demod	213
2.8.3. Пофрагментный вывод сигналов — strips	214
2.9. Специальные операции с сигналами	215
2.9.1. Создание буфера кадров сигнала — buffer	215
2.9.2. Свертка одномерных сигналов — conv	216
2.9.3. Операция, обратная свертке — deconv	217
2.9.4. Свертка двумерная и многомерная — conv2 и convn	217
2.9.5. Дискретные сфероидальные последовательности — dpss	217
2.10. Дискретные быстрые преобразования Фурье	218
2.10.1. Прямое одномерное дискретное БПФ — fft	218
2.10.2. Перегруппировка выходного массива преобразования Фурье — fftshift	220
2.10.3. Обратное одномерное дискретное БПФ — ifft	221
2.10.4. Матрица дискретного преобразования Фурье — dftmtx	221
2.10.5. Прямое и обратное двумерное БПФ — fft2 и ifft2	222
2.11. Специальные виды преобразования сигналов ...	223
2.11.1. Прямое дискретное косинусное преобразование — dct	223
2.11.2. Обратное дискретное косинусное преобразование — idct	224
2.11.3. Z-преобразование по спиральному контуру — czt	224
2.11.4. Преобразование Гильберта — Hilbert	226
2.12. Кепстральный анализ	227
2.12.1. Комплексный кепстр действительной последовательности — sscps	227
2.12.2. Вещественный кепстр и минимально-фазовая реконструкция — rscps	228
2.12.3. Обратный комплексный кепстр — isscps	228
2.13. Спектральный анализ дискретных сигналов	228
2.13.1. Основы спектрального анализа дискретных сигналов	228
2.13.2. Параметры функций спектрального анализа	230

2.13.3. Метод Бурга — pburg	231
2.13.4. Ковариационный метод — pscov	233
2.13.5. Модифицированный ковариационный метод — pmscov	234
2.13.6. Многооконный метод — pmtm	234
2.13.7. Метод Уэлча — pwelch	235
2.13.8. Метод собственных значений — peig	237
2.13.9. Метод Юла-Уокера — pyulear	237
2.13.10. Метод классификации множественных сигналов — pmusic	238
2.13.11. Вычисление частот и мощностей по алгоритму MUSIC — rootmusic	239
2.13.12. Сравнение спектральных оценок разными методами	240
2.14. Статистика сигналов	241
2.14.1. Оценка КМК двух сигналов — cohere	241
2.14.2. Взаимная СПМ двух сигналов — csd	242
2.14.3. Вычисление корреляционной и ковариационной матриц — corrcoef и cov	244
2.14.4. Взаимная корреляционная функция — xcorr и xcorr2 ...	244
2.14.5. Оценка матрицы автокорреляции — corrmatrix	246
2.14.6. Взаимная ковариационная функция xcov	246
2.15. Средства визуализации спектра сигналов	246
2.15.1. Построение периодограмм — periodogram	246
2.15.2. Построение графиков спектральной плотности	247
2.15.3. Построение спектрограмм — spectrogram	248
2.15.4. Применение функции дискретного Фурье-преобразования goertzel	252

Глава 3. Моделирование и фильтрация

сигналов	253
-----------------------	-----

3.1. Построение характеристик фильтров	254
3.1.1. Классификация фильтров	254
3.1.2. Основные структуры фильтров	256
3.1.3. АЧХ аналогового фильтра — freqs	257

3.1.4. Формирование отсчетов частоты — freqspace	259
3.1.5. АЧХ цифрового фильтра — freqz	260
3.1.6. Коррекция фазового сдвига — unwrap	261
3.1.7. Групповое время задержки — grpdelay	262
3.1.8. Импульсная характеристика цифрового фильтра — impz	263
3.1.9. Построение частотных зависимостей — freqzplot	264
3.1.10. Построение нулей и полюсов — zplane	265
3.1.11. Вычисление второй нормы фильтра — filternorm	266
3.2. Базовые функции фильтрации	267
3.2.1. Дискретная одномерная фильтрация — filter	267
3.2.2. Дискретная двумерная фильтрация — filter2	269
3.2.3. Цифровая фильтрация без фазовых искажений — filtfilt	269
3.2.4. Цифровая фильтрация решетчатым фильтром — latcfilt	269
3.2.5. Одномерная медианная фильтрация — medfilt1	269
3.2.6. Фильтрация фильтром Савицкого-Голея — sgolayfilt	270
3.2.7. Фильтрация каскадным фильтром — sosfilt	271
3.3. Преобразование описаний линейных систем	271
3.3.1. Вычисление коэффициентов передаточной функции по коэффициентам решетчатого фильтра — latc2tf	271
3.3.2. Масштабирование корней полинома — polyscale	272
3.3.3. Стабилизация полинома — polystab	273
3.3.4. Разложение на простые дроби — residuez	273
3.3.5. Функции представления линейных систем в пространстве состояний	273
3.4. Функции линейного предсказания	275
3.4.1. Прямые функции предсказания	275
3.4.2. Обратные функции предсказания	276
3.5. Параметрическое моделирование	276
3.5.1. Расчет параметров линейной АР-модели методом Бурга — arburg	276
3.5.2. Другие функции расчета параметров АР-модели	277

3.6. Аналоговые НЧ-фильтры — прототипы (АФП)	279
3.6.1. Расчет параметров АФП Бесселя — <code>besselap</code>	279
3.6.2. Расчет параметров АФП Баттерворта — <code>buttap</code>	279
3.6.3. Расчет параметров АФП Чебышева I рода — <code>cheb1ap</code>	280
3.6.4. Расчет параметров АФП Чебышева II рода — <code>cheb2ap</code>	280
3.6.5. Расчет параметров эллиптического АФП — <code>ellipap</code>	281
3.7. Проектирование базовых аналоговых и цифровых фильтров	282
3.7.1. Проектирование аналоговых фильтров Бесселя — <code>besself</code>	282
3.7.2. Проектирование фильтров Баттерворта — <code>butter</code>	284
3.7.3. Проектирование фильтров Чебышева I — <code>cheby1</code>	285
3.7.4. Проектирование фильтров Чебышева II — <code>cheby2</code>	286
3.7.5. Проектирование эллиптических фильтров — <code>ellip</code>	287
3.7.6. Расчет аналоговых фильтров по характеристикам прототипа — <code>lp2*</code>	288
3.7.7. Проектирование цифровых фильтров с БИХ	289
3.7.8. Выбор минимального порядка фильтров с БИХ	291
3.8. Дискретизация аналоговых фильтров	294
3.8.1. Билинейное преобразование — <code>bilinear</code>	294
3.8.2. Инвариантное импульсное преобразование — <code>impinvar</code>	297
3.9. Средства проектирования фильтров с конечной импульсной характеристикой	298
3.9.1. Вычисление матрицы свертки — <code>convmtx</code>	298
3.9.2. Метод Ремеза для фильтров с равными пульсациями — <code>remez</code>	298
3.9.3. Метод взвешивания — <code>fir1</code>	301
3.9.4. Метод взвешивания для фильтра с произвольной АЧХ — <code>fir2</code>	303
3.9.5. Метод наименьших квадратов — <code>fircls</code> , <code>fircls1</code> и <code>firls</code>	304
3.9.6. Расчет косинусного фильтра — <code>firrcos</code>	307
3.9.7. Расчет интерполирующего фильтра — <code>intfilt</code>	309

3.9.8. Использование окна Кайзера — kaiserord	311
3.9.9. Проектирование фильтров Ремеза — remez и remezord	312

Глава 4. Специальные средства обработки сигналов и проектирования фильтров 315

4.1. Графический интерфейс пакета Signal Processing	316
4.1.1. Назначение графического интерфейса пользователя GUI	316
4.1.2. Демонстрация модуляции/демодуляции — moddemo ..	316
4.1.3. Вьюверы окон — wintool и wvtool	319
4.1.4. Доступ к инструменту sptools	321
4.1.5. Браузер сигналов	321
4.1.6. Браузер спектра	325
4.2. Демонстрационные примеры на основе GUI	327
4.2.1. Доступ к демонстрационным примерам и средствам проектирования	327
4.2.2. Демонстрация z-преобразований — dztdemo	328
4.2.3. Демонстрация непрерывного и дискретного преобразований Фурье	329
4.2.4. Демонстрация методов спектрального оценивания	329
4.2.5. Пример проектирования полосового фильтра	332
4.2.6. Интерактивное проектирование ФНЧ	333
4.2.7. Демонстрация работы фильтра Савицкого-Голея	334
4.2.8. Демонстрация изменений АЧХ секционных фильтров второго порядка	334
4.3. Визуально-ориентированное проектирование фильтров	336
4.3.1. Проектировщик/анализатор фильтров — fdatool	336
4.3.2. Панели инструментов fdtool	339
4.3.3. Браузер фильтров	342
4.3.4. Проектировщик фильтров — Filter Designer	343

4.4. Пакет проектирования фильтров	
Filter Design Toolbox	345
4.4.1. Назначение пакета Filter Design Toolbox	345
4.4.2. Справка и документация по пакету Filter Design Toolbox	346
4.4.3. Фильтры и объекты класса Quantized (Q-типа)	347
4.4.4. Влияние погрешности вычислений	348
4.5. Основные функции пакета Filter Design Toolbox	349
4.5.1. Функции преобразования чисел и бинарных строк	349
4.5.2. Функции преобразования ячеек и фильтров	350
4.5.3. Функции конструирования Q-фильтров и оценки их свойств	351
4.5.4. Характеристики Q-фильтров	353
4.5.5. Функции дискретных Q-фильтров	356
4.5.6. Функции тестирования Q-фильтров	357
4.5.7. Функции Q-квантователей и их свойств	358
4.5.8. Функции анализа Q-квантователей	359
4.5.9. Q-БПФ (быстрое преобразование Фурье)	360
4.5.10. Функции конвертирования Q-фильтров	362
4.6. Техника проектирования Q-фильтров	363
4.6.1. Проектирование фильтров в командном режиме работы	363
4.6.2. Использование демонстрационных примеров	364
4.6.3. Адаптивная фильтрация зашумленной синусоиды	365
4.6.4. Адаптивная фильтрация с линейным предсказанием	368
4.6.5. Проектирование Q-фильтров на основе проектировщика фильтров	372
4.6.6. Создание Simulink-блока спроектированного фильтра	376
4.7. Взаимодействие с другими пакетами расширения	377
4.7.1. Пакеты расширения со средствами задания и обработки сигналов	377
4.7.2. Работа с пакетом Communication Toolbox	378

4.7.3. О применении пакетов инструментального ящика Blockset	381
4.8. Проектирование фильтров на специализированных микросхемах	381
4.8.1. Назначение пакета Filter Design HDL Coder	381
4.8.2. Возможности пакета Filter Design HDL Coder	382
4.8.3. Доступ к справке пакета Filter Design HDL Coder	382
4.8.4. Работа с демонстрационными примерами	384
4.9. Пакет расширения Signal Processing Blockset	389
4.9.1. Назначение пакета расширения Signal Processing Blockset 6.5	389
4.9.2. Состав блоков библиотеки пакета Signal Processing Blockset 6.5	389
4.9.3. Работа с источниками и получателями сигналов	390
4.9.4. Работа с блоками математических операций	391
4.9.5. Квантование сигналов и управление ими	394
4.9.6. Организация очереди, стека, сдвигового регистра и линии задержки	397
4.9.7. Подраздел Signal Attributes	399
4.9.8. Переключатели и счетчики	399
4.9.9. Обработка сигналов (раздел Signal Operations)	402
4.9.10. Раздел оценки блоков — DSP Estimation	403
4.9.11. Преобразования сигналов — раздел Transforms	404
4.9.12. Статистическая обработка данных — раздел DSP Statistics	404
4.9.13. Фильтрация сигналов (раздел Filtering)	406
4.10. Примеры моделирования систем на основе пакета SPB	407
4.10.1. Модель адаптивного фильтра RLS	407
4.10.2. Модель адаптивного фильтра Калмана	407
4.10.3. Модель стерео-экспандера	407
4.10.4. Модель анализатора спектра с оконным БПФ	409
4.10.5. Однополосная модуляция (SSB)	410
4.10.6. Адаптивная дельта-импульсная кодовая модуляция	411

Глава 5. Вейвлеты в пакете

WAVELET TOOLBOX	413
5.1. Характеристика и место вейвлетов	414
5.1.1. Вейвлеты как новое научное направление	414
5.1.2. Список основных сокращений по вейвлетам	415
5.1.3. Ограничения и недостатки преобразования Фурье	416
5.1.4. Кратковременное (оконное) преобразование Фурье ...	418
5.1.5. Идея вейвлет-преобразования	419
5.2. Основы теории вейвлет-преобразований	422
5.2.1. Аппроксимирующая и детализирующая компоненты вейвлетов	422
5.2.2. Непрерывное прямое вейвлет-преобразование	425
5.2.3. Вейвлет-анализ сигналов с помощью спектрограмм ...	425
5.2.4. Вейвлеты в частотной области	426
5.2.5. Непрерывное обратное вейвлет-преобразование	427
5.2.6. Сравнение различных представлений сигналов	428
5.2.7. О скорости вычислений при вейвлет-преобразованиях	429
5.3. Кратномасштабный анализ	429
5.3.1. Ортогональные вейвлеты	429
5.3.2. Дискретное вейвлет-преобразование непрерывных сигналов	430
5.3.3. Суть кратномасштабного анализа	431
5.3.4. Точное и грубое разрешение	433
5.4. Частотный подход и быстрое вейвлет-преобразование	434
5.4.1. Частотный подход к вейвлет-преобразованиям	434
5.4.2. Основы вейвлет-фильтрации	435
5.4.3. Квадратурные фильтры	436
5.4.4. Быстрое вейвлет-преобразование и алгоритм Малла ...	438
5.4.5. Декомпозиция и реконструкция сигналов в Wavelet Toolbox	439
5.5. Специальные вопросы вейвлет-преобразований	440

5.5.1. Пакетные вейвлеты	440
5.5.2. Дискретный вейвлет-анализ и временные ряды	441
5.5.3. Двумерные вейвлеты	443
5.5.4. Вейвлет-компрессия сигналов и изображений и их очистки от шумов	443
5.6. Краткая характеристика пакета расширения Wavelet Toolbox	444
5.6.1. Назначение пакета Wavelet Toolbox	444
5.6.2. Техническая документация по пакету Wavelet Toolbox ...	445
5.6.3. Типы вейвлетов в пакете Wavelet Toolbox	446
5.6.4. Вейвлет-менеджер — wavemngr	447
5.7. Основные функции вейвлет-анализа	449
5.7.1. Центральная вейвлет-частота — centfrq	449
5.7.2. Уменьшение размера матрицы вдвое — dyaddown	451
5.7.3. Увеличение размера матрицы вдвое — dyadup	452
5.7.4. Интегрирование вейвлет-функции — intwave	453
5.7.5. Масштабирование к частоте — scal2frq	454
5.7.6. Аппроксимирующая и масштабирующие функции — wavefunavefun	455
5.7.7. Максимальный уровень вейвлет-разложения — wmaxlev	457
5.8. Семейство вейвлет-фильтров	457
5.8.1. Множество фильтров биортогонального вейвлета — biorfilt	457
5.8.2. Множество фильтров ортогонального вейвлета — orthfilt	459
5.8.3. Фильтры ортогональных или биортогональных вейвлетов — wfilters	460
5.8.4. Биортогональный сплайновый вейвлет-фильтр — biorwavf	461
5.8.5. Комплексный Гауссовский вейвлет — sgauwavf	461
5.8.6. Комплексный вейвлет Морлета — cmorwav	462
5.8.7. Вейвлет-фильтр Коифлета — coifwavf	462
5.8.8. Вейвлет-фильтр Добеши — dbaux и dbwavf	463
5.8.9. Частотный В-сплайновый вейвлет — fbspwavf	464

5.8.10. Гауссовый вейвлет — <code>gauswavf</code>	464
5.8.11. Вейвлет «мексиканская шляпа» — <code>mexihat</code>	466
5.8.12. Вейвлет-функция Мейера — <code>meyer</code> и <code>meyeraux</code>	466
5.8.13. Вейвлет Морлета — <code>morlet</code>	468
5.8.14. Обратный биортогональный вейвлет-фильтр — <code>rbiowavf</code>	469
5.8.15. Вейвлет-фильтр Шеннона	469
5.8.16. Масштабирующие фильтры вейвлета Симлета — <code>symaux</code> и <code>symwavf</code>	469
5.8.17. Грубые (Crude) вейвлеты	470
5.8.18. Бесконечные регулярные вейвлеты	470
5.8.19. Ортогональные вейвлеты с компактным носителем	471
5.8.20. Биортогональные парные вейвлеты с компактным носителем	471
5.8.21. Комплексные вейвлеты	471
5.9. Утилиты управления построением деревьев	472
5.9.1. Обзор утилит управления построением деревьев	472
5.9.2. Построение дерева разложения пакетного вейвлета — <code>drawtree</code>	473
5.9.3. Построение дерева — <code>plot</code>	473
5.9.4. Построение цветной вейвлет-спектрограммы — <code>wpviewcf</code>	475
5.10. Основные утилиты	476
5.10.1. Кодированная версия матрицы — <code>wcodemat</code>	476
5.10.2. Утилита расширения — <code>wextend</code>	477
5.10.3. Извлечение — <code>wkeep</code>	478
5.10.4. Разворот вектора — <code>wrev</code>	479
5.11. Прочие функции	479
5.11.1. Обратное нестандартное БПФ — <code>instdfft</code>	479
5.11.2. Нестандартное прямое БПФ — <code>nstdfft</code>	479
5.11.3. Точки оценки — <code>wvarchg</code>	480
5.12. Особенности различных версий Wavelet Toolbox	480
5.12.1. Новые возможности пакета Wavelet Toolbox 2.1	480
5.12.2. Новая функция <code>disp</code>	481

5.12.3. Новая функция <code>wavefun2</code>	481
5.12.4. Особенности реализаций Wavelet Toolbox 3.* / 4.*	482
5.12.5. Конструктор вейвлетов по образцу для непрерывных вейвлет-преобразований	483
5.12.6. Функции моделирования дробного броуновского движения	485
5.12.7. Функции лифтинга	487
5.12.8. Функция слияния изображений и массивов	488
5.12.9. Многовариантная вейвлет-очистка сигналов	490
5.12.10. Анализ и обработка многомерных сигналов в Wavelet Toolbox V4.0	492
5.12.11. Функция <code>cwtext</code> Wavelet Toolbox V4.2	494
5.12.12. Функции <code>swt2</code> и <code>iswt2</code> в Wavelet Toolbox V4.2	497
5.12.13. Другие возможности Wavelet Toolbox V4.2	498
5.12.14. Новые возможности компрессии изображений в Wavelet Toolbox V4.3	498
5.12.15. Новые возможности пакета Wavelet Toolbox V4.4	500

Глава 6. Применение вейвлетов 505

6.1. Непрерывное одномерное вейвлет-преобразование	506
6.1.1. Функция одномерного непрерывного вейвлет-преобразования — <code>cwt</code>	506
6.1.2. Вейвлет-спектрограмма синусоиды с малыми разрывами	506
6.1.3. Вейвлет-спектрограмма степенной функции синуса	508
6.1.4. Вейвлет-представление сигнала с разрывами и шумом	509
6.1.5. Вейвлет-анализ реальных звуковых сигналов	510
6.2. Дискретное одномерное вейвлет-преобразование	512
6.2.1. Нахождение вейвлет коэффициентов одномерного преобразования — <code>appcoef</code>	512
6.2.2. Функция нахождения одномерных детализирующих коэффициентов — <code>detcoef</code>	513

6.2.3. Одноуровневое дискретное одномерное вейвлет-преобразование — <code>dwt</code>	515
6.2.4. Метод расширения вейвлет-преобразования — <code>dwtmode</code>	517
6.2.5. Одноуровневое обратное вейвлет-преобразование — <code>idwt</code>	518
6.2.6. Прямое восстановление из одномерных вейвлет-коэффициентов — <code>urcoef</code>	520
6.2.7. Одноуровневое восстановление одномерного вейвлет-разложения — <code>upwlew</code>	522
6.2.8. Многоуровневое одномерное вейвлет-разложение — <code>wavedec</code>	522
6.2.9. Многоуровневое одномерное <code>wavelet</code> восстановление — <code>waverec</code>	523
6.2.10. Восстановление одиночной ветви из одномерных вейвлет-коэффициентов — <code>wrcoef</code>	523
6.3. Средства GUI одномерного вейвлет-преобразования	525
6.3.1. Вызов окна GUI пакета Wavelet Toolbox — <code>wavemenu</code>	525
6.3.2. Просмотр вейвлетов — окно Wavelet Display	525
6.3.3. Доступ к демонстрационным примерам — <code>wavedemo</code> ...	530
6.3.4. Работа с демонстрационными примерами	531
6.3.5. Просмотр примера Short 1D scenario	534
6.3.6. Демонстрационные примеры GUI	535
6.4. Дискретное двумерное вейвлет-преобразование	537
6.4.1. Нахождение вейвлет коэффициентов двумерного преобразования — <code>appcoef2</code>	538
6.4.2. Функция нахождения двумерных детализирующих коэффициентов — <code>detcoef2</code>	538
6.4.3. Одноуровневое дискретное двумерное вейвлет-преобразование — <code>dwt2</code>	539
6.4.4. Одноуровневое дискретное двумерное обратное вейвлет-преобразование — <code>idwt2</code>	539
6.4.5. Прямое восстановление из двумерных вейвлет-коэффициентов — <code>urcoef2</code>	540

6.4.6. Многоуровневое двумерное вейвлет-разложение — <code>wavedec2</code>	541
6.4.7. Одноуровневое восстановление двумерного вейвлет-разложения — <code>upwlev2</code>	541
6.4.8. Многоуровневое двумерное вейвлет-восстановление — <code>waverec2</code>	542
6.4.9. Восстановление одиночной ветви из двумерных вейвлет-коэффициентов — <code>wrcoef2</code>	542
6.5. Пакетные вейвлет-алгоритмы	543
6.5.1. Наилучшее дерево уровня — <code>bestlevt</code>	543
6.5.2. Наилучшее дерево по критерию энтропии — <code>besttree</code> ...	545
6.5.3. Вычисление энтропии — <code>wentropy</code>	546
6.5.4. Обновление энтропии — <code>entrupd</code>	546
6.5.5. Извлечение вейвлет-дерева из пакетного дерева — <code>wp2wtree</code>	547
6.5.6. Пакетные вейвлет-коэффициенты — <code>wprcoef</code>	547
6.5.7. Сечение вейвлет-пакетного дерева <code>wpcutree</code>	549
6.5.8. Пакетное одномерное вейвлет-разложение — <code>wpdec</code> ...	549
6.5.9. Пакетное двумерное вейвлет-разложение — <code>wpdec2</code> ...	550
6.5.10. Пакетная вейвлет-функция — <code>wpfun</code>	550
6.5.11. Перекомпонованный пакетный вейвлет — <code>wprjoin</code>	551
6.5.12. Восстановление коэффициентов пакетного вейвлета — <code>wprcoef</code>	552
6.5.13. Пакетное вейвлет-восстановление — <code>wprec</code> и <code>wprec2</code>	553
6.6. Дискретное стационарное вейвлет-преобразование	553
6.6.1. Дискретное стационарное одномерное вейвлет-преобразование — <code>swt</code>	553
6.6.2. Обратное одномерное стационарное дискретное <code>wavelet</code> преобразование — <code>iswt</code>	554
6.6.3. Дискретное стационарное двумерное вейвлет-преобразование — <code>swt2</code>	554
6.6.4. Обратное стационарное двумерное дискретное вейвлет-преобразование — <code>iswt2</code>	556

6.7. Удаление шумов и сжатие сигналов и изображений	556
6.7.1. Принципы очистки сигналов и шумов	556
6.7.2. Установка параметров по умолчанию — <code>ddencmp</code>	557
6.7.3. Выбор порога для удаления шумов — <code>thselect</code>	558
6.7.4. Штрафной порог для удаления шума — <code>wbmpen</code>	558
6.7.5. Порог одномерного вейвлета — <code>wdcbm</code>	559
6.7.6. Порог двумерного вейвлета — <code>wdcbm2</code>	561
6.7.7. Создание архива отпечатков пальцев	561
6.7.8. Автоматическое одномерное удаление — <code>wden</code>	562
6.7.9. Удаление шума и сжатие — <code>wdencomp</code>	565
6.7.10. Генерация тестовых сигналов — <code>wnoise</code>	567
6.7.11. Оценка шума одномерных вейвлет-коэффициентов — <code>wnoisest</code>	568
6.7.12. Штрафной порог для удаления шумов пакетного вейвлета — <code>wpbmpen</code>	569
6.7.13. Удаление шумов и сжатие с использованием пакетного вейвлета — <code>wpdencmp</code>	570
6.7.14. Пример очистки изображения от шума	570
6.7.15. Порог коэффициентов пакетного вейвлета — <code>wpthcoef</code>	571
6.7.16. Одномерный порог вейвлет-коэффициентов — <code>wthcoef</code>	571
6.7.17. Двумерный порог вейвлет-коэффициентов <code>wthcoef2</code>	572
6.7.18. Установка гибкого или жесткого порога — <code>wthresh</code>	572
6.7.19. Управление параметрами порога — <code>wthrmngr</code>	573
6.8. Обзор основных применений вейвлет-технологии	573
6.8.1. Выявление тонких особенностей сигналов с помощью непрерывных вейвлетов	573
6.8.2. Статистическая обработка сигналов и их дискретных вейвлетов	575
6.8.3. Компрессия сигналов	578
6.8.4. Очистка сигнала от шума	579
6.8.5. Очистка сигналов от шумов с помощью стационарных вейвлетов	581

6.8.6. Оценка плотности сигналов	581
6.8.7. Регрессия по результатам оценки плотности сигналов	582
6.8.8. Расширение и экстраполяция сигналов	582
6.8.9. Двумерное вейвлет-разложение и реконструкция изображений	583
6.8.10. Двумерное пакетное вейвлет-разложение и реконструкция изображений	586
6.8.11. Компрессия изображения и очистка его от шума	587
6.8.12. Расширение изображений	589
6.9. Вейвлеты в пакете расширения Signal Processing Blockset	590
6.9.1. Реконструкция сигнала после вейвлет-фильтрации	590
6.9.2. Реконструкция сложного сигнала после вейвлет-фильтрации	591
6.9.3. Вейвлет-очистка нестационарного сигнала от шума	592

Глава 7. Проектирование радиочастотных и электронных цепей и устройств

595

7.1. Пакет расширения RF Toolbox	596
7.1.1. Назначение пакета расширения RF Toolbox	596
7.1.2. Системы параметров для объектов RF Toolbox	597
7.1.3. Объекты и методы радиочастотных цепей	598
7.1.4. Работа со справкой пакета RF Toolbox	600
7.1.5. Обзор функций пакета RF Toolbox	603
7.2. Работа с примерами применения пакета RF Toolbox	606
7.2.1. Пример работы объектами типа RF Circuit	606
7.2.2. Пример работы объектами типа RF Data	611
7.2.3. Демонстрационные примеры пакета RF Tools	615
7.3. Инструмент RFTool	616
7.3.1. Открытие окна инструмента RFTtool	616
7.3.2. Загрузка примеров в RFTool	617

7.3.3. Визуализация результатов анализа с помощью RFTtool	618
7.4. Пакет расширения RF Blockset	621
7.4.1. Назначение пакета RF Blockset	621
7.4.2. Библиотека блоков пакета RF Blockset	622
7.4.3. Работа с математическими блоками	622
7.4.4. Блоки физических устройств	625
7.4.5. Применение блоков портов ввода/ вывода	625
7.4.6. Визуализация графических характеристик блоков	628
7.5. Примеры применения пакета RF Blockset	630
7.5.1. Сравнение реализаций усилителей	630
7.5.2. Моделирование фильтров на линиях передачи	631
7.5.3. Моделирование многокаскадных радиочастотных систем	634
7.5.4. Примеры совместного применения пакетов RF и Communication Blockset	635
7.6. Пакет расширения Simscape и его библиотека	637
7.6.1. Библиотека пакета расширения Simscape	637
7.6.2. Подраздел библиотеки Foundation Library	638
7.6.3. Подраздел библиотеки Electrical	638
7.6.4. Подраздел библиотеки Physical Signals	640
7.7. Примеры моделирования электронных устройств с применением пакета Simscape	642
7.7.1. Модели основных электро- и радиокомпонентов Simscape	642
7.7.2. Моделирование инвертирующего и неинвертирующего усилителей на основе идеального операционного усилителя	643
7.7.3. Моделирование усилителя с ограниченной полосой частот	645
7.7.4. Моделирование дифференцирующего устройства на основе идеального операционного усилителя	646
7.7.5. Линейная и нелинейные модели идеального биполярного транзистора	647

7.7.6. Моделирование каскадов с общим эмиттером на биполярном транзисторе	648
7.7.7. Моделирование нелинейной индуктивности	650
7.7.8. Моделирование мостового выпрямителя	651
7.8. Пакет моделирования электронных устройств SimElectronics	652
7.8.1. Назначение и библиотека блоков пакета SimElectronics	652
7.8.2. Подготовка диаграммы моделируемого устройства и ее пуск	657
7.8.3. Моделирование дифференцирующей RC-цепи	657
7.8.4. Моделирование дифференцирующей RC-цепи с отсекающим диодом	661
7.8.5. Моделирование каскада на полевом транзисторе с управляющим переходом	661
7.8.6. Построение диаграмм Бode для каскада на полевом транзисторе с управляющим переходом	662
7.8.7. Моделирование характериографов	664
7.8.8. Моделирование симметричного автоколебательного мультивибратора	666
7.8.9. Моделирование интегрального дифференциального каскада	667
7.8.10. Создание субблока дифференциального каскада	668
7.8.11. Моделирование интегральных логических схем с разными их моделями	668
7.8.12. Моделирование мостового измерителя усилий	672
7.8.13. Моделирование привода электромотора постоянного тока	672
7.8.14. Моделирование привода шагового двигателя	673

Глава 8. Проектирование и моделирование радиоэлектронных систем

675

8.1. Понятие о системах и их моделировании	676
8.1.1. Понятие о моделировании и моделях	676
8.1.2. Идентификация моделей и объектов моделирования ...	676

8.2. Основные характеристики (функции) систем	678
8.2.1. Передаточная характеристика	678
8.2.2. Импульсная характеристика	679
8.2.3. Переходная функция	679
8.2.4. Частотные характеристики	679
8.3. Теоретические модели объектов	680
8.3.1. Дифференциальные уравнения	680
8.3.2. Уравнения переменных состояния	680
8.3.3. Разностные уравнения	681
8.3.4. Дискретное Z-преобразование	681
8.3.5. Модели авторегрессии	682
8.3.6. Модель для переменных состояния	683
8.4. Методы оценивания	683
8.4.1. Оценивание параметрических моделей	684
8.4.2. Оценивание импульсной характеристики	684
8.4.3. Оценивание спектров и частотных характеристик	685
8.5. Пакет расширения System Identification Toolbox ...	686
8.5.1. Назначение пакета System Identification	686
8.5.2. Графический интерфейс System Identification Toolbox ...	687
8.5.3. Загрузка данных	688
8.5.4. Исследование исходных данных	689
8.5.5. Построение и анализ моделей	691
8.5.6. Оценка моделей	692
8.5.7. Сохранение модели	696
8.6. Функции командного режима пакета System Identification	696
8.6.1. Функции имитация и предсказание	697
8.6.2. Манипуляции с данными	699
8.6.3. Непараметрическое оценивание	701
8.6.4. Параметрическое и итерационное оценивание	705
8.6.5. Манипуляции с моделями	708
8.6.6. Выбор структуры модели	709
8.6.7. Преобразования модели	711
8.6.8. Анализ модели	712

8.6.9. Извлечения информации о модели	713
8.6.10. Проверка адекватности модели	714
8.6.11. Демонстрационные примеры пакета System Identification	717
8.7. Обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ)	717
8.7.1. Определение ОДУ	717
8.7.2. Решатели ОДУ	718
8.7.3. Параметры и опции решателей систем ОДУ	720
8.8. Моделирование на основе решения систем ОДУ	723
8.8.1. Решение системы ОДУ Ван-дер-Поля	723
8.8.2. Вычисление реакции системы второго порядка на заданное воздействие	728
8.8.3. Решение системы дифференциальных уравнений с двухсторонними граничными условиями	729
8.8.4. Моделирование странного аттрактора Лоренца	731
8.8.5. Доступ к примерам на решение дифференциальных уравнений	732
8.8.6. Решения дифференциальных уравнений в частных производных	732
8.9. Пакет Control System Toolbox	734
8.9.1. Назначение пакета Control System	734
8.9.2. Классы вычислительных объектов пакета	735
8.9.3. Общая характеристика функций пакета	736
8.9.4. Вызов окна GUI	737
8.9.5. Загрузка моделей	739
8.9.6. Работа с редактором свойств	742
8.9.7. Установки графического интерфейса	742
8.9.8. Работа с инструментами sisotool и rltool	744
8.10. Работа с пакетом Control System в командном режиме	748
8.10.1. Создание моделей стационарных систем	748
8.10.2. Получение информации об отдельных характеристиках модели	754

8.10.3. Преобразование моделей	755
8.10.4. «Арифметические» операции с моделями	756
8.10.5. Модели для переменных состояния	758
8.10.6. Модели динамики	763
8.10.7. Моделирование временного отклика систем	770
8.10.8. Создание и представление временных задержек	774
8.10.9. Моделирование частотного отклика систем	775
8.10.10. Композиция систем	782
8.10.11. Редукция порядка модели	782
8.10.12. Традиционное проектирование систем	785
8.10.13. Аналитическое конструирование регуляторов	787
8.10.14. Синтез фильтра Калмана	788
8.10.15. Решение матричных уравнений	790
8.10.16. Виртуальная лаборатория по исследованию LCR-цепи	793
8.10.17. Моделирование системы с положительной обратной связью	795
8.10.18. Моделирование операционного усилителя с отрицательной обратной связью	796

Глава 9. Моделирование нелинейных устройств и систем 801

9.1. Оптимизации отклика систем	802
9.1.1. Назначение пакетов оптимизации откликов систем	802
9.1.2. Состав блоков пакетов	802
9.1.3. Демонстрация работы блоков пакетов оптимизации отклика	804
9.1.4. Оптимизация системы с PID-контроллером	805
9.1.5. Оптимизация системы магнитной «левитации» стального шарика	807
9.1.6. Оптимизация системы энергетического преобразователя	810
9.1.7. Функции пакета расширения Simulink Response Optimization	813
9.2. Моделирование коммуникационных систем	814

9.2.1. Пакеты расширения Communications Blockset и Communications Toolbox	814
9.2.2. Основы работы	815
9.2.3. Доступ к библиотеке пакета Communications Blockset ...	816
9.2.4. Источники и получатели коммуникационных сигналов ..	817
9.2.5. Регистраторы коммуникационных сигналов и построение глазковых диаграмм	818
9.2.6. Моделирование кодирования и декодирования	821
9.2.7. Моделирование модуляторов и демодуляторов	823
9.2.8. Библиотеки каналов	826
9.2.9. Библиотека модулей синхронизации	827
9.2.10. Применение блоков детектирования ошибок и коррекции	829
9.2.11. Блоки фильтров и эквалайзеров	831
9.2.12. Обзор других разделов библиотеки Communication Blockset	836
9.3. Пакет расширения SimPowerSystems	838
9.3.1. Назначение пакета расширения SimPowerSystems	838
9.3.2. Состав библиотек SimPowerSystems Blockset	838
9.3.3. Параметры и единицы их измерения	839
9.3.4. Источники электрической энергии и их применение	840
9.3.5. Библиотека компонентов Elements	842
9.3.6. Примеры моделирования RLC-цепей	844
9.3.7. Моделирование устройств с трансформаторами	847
9.3.8. Выключатели и ограничители пиковых напряжений	854
9.3.9. Моделирование линий передачи	856
9.3.10. Состав библиотеки силовой электроники	859
9.3.11. Моделирование ключей — идеального и диодного	860
9.3.12. Моделирование устройств с мощными ключевыми полевыми транзисторами	862
9.3.13. Моделирование устройств с тиристорами	863
9.3.14. Моделирование устройств с запираемыми Gto модулями	864
9.3.15. Моделирование устройств с силовыми IGBT модулями	865
9.3.16. Моделирование устройств с мостовыми модулями	867

9.3.17. Моделирование импульсного преобразователя с ключом на полевом транзисторе	869
9.3.18. Моделирование неуправляемых однофазных выпрямителей	871
9.3.19. Моделирование трехфазных выпрямителей	872
9.3.20. Моделирование однофазных инверторов	873
9.4. Построение уточненной модели ключа на мощном МДП-транзисторе	874
9.4.1. Построение субмодели мощного МДП-транзистора	874
9.4.2. Построение семейства ВАХ мощного МДП-транзистора	875
9.4.3. Динамическая модель мощного МДП-транзистора	877
9.4.4. Моделирование ключа на мощном МДП-транзисторе ...	879

Глава 10. Работа MATLAB с измерительными приборами

10.1. Работа с компьютеризированной виртуальной лабораторией	882
10.1.1. Виртуальные PC-осциллографы фирмы Velleman	882
10.1.2. Анализатор спектра на базе виртуального осциллографа фирмы Velleman	884
10.1.3. Самописец на базе виртуального осциллографа фирмы Velleman	884
10.1.4. Работа с PC-осциллографом фирмы Velleman	885
10.1.5. Виртуальные функциональные генераторы фирмы Velleman	887
10.1.6. Работа с виртуальным функциональным генератором фирмы Velleman	887
10.1.7. Развертывание виртуальной лаборатории PC-Lab 2000	889
10.1.8. Специальные возможности лаборатории PC-Lab 2000	890
10.1.9. Передача осциллограмм в среду системы MATLAB	893
10.1.10. Взаимодействие MATLAB с виртуальным функциональным генератором	895

10.1.11. Импорт и экспорт спектрограмм	896
10.2. Современные измерительные системы	898
10.2.1. Построение измерительных систем	898
10.2.2. Порты для подключения измерительных приборов к компьютеру	899
10.3. Стыковка компьютера с цифровым осциллографом	901
10.3.1. Современные бюджетные цифровые осциллографы с USB-портом	901
10.3.2. Применение пакета расширения MATLAB — Instrument Control Toolbox	902
10.3.3. Идентификация осциллографа	903
10.3.4. MATLAB-программа для работы с цифровыми осциллографами TDS2000B	903
10.3.5. Спектральный анализ осциллограмм в MATLAB	908
10.3.6. Построение спектрограмм осциллограмм в MATLAB ..	912
10.4. Управление генераторами произвольных сигналов от системы MATLAB	914
10.4.1. От множества генераторов к одному генератору произвольных сигналов	914
10.4.2. Управление генераторами серии AFG3000 от системы MATLAB	915
10.4.3. Применение MATLAB при совместной работе генератора и цифрового осциллографа	918
10.5. Расширенная обработка в MATLAB реальных осциллограмм	919
10.5.1. Стыковка с MATLAB осциллографа Tektronix DPO 4101	919
10.5.2. Программа ввода в MATLAB осциллограмм двух каналов	923
10.5.3. Математические операции с сигналами двух каналов	925
10.5.4. Очистка осциллограммы от шума с помощью функции smooth	927
10.6. Расширенный спектральный анализ реальных осциллограмм в MATLAB	928

10.6.1. Фурье-преобразование и периодограммы для реальных осциллограмм	928
10.6.2. MATLAB-инструмент спектрального анализа SPTool ...	929
10.6.3. Построение спектра реальных осциллограмм различными методами	930
10.6.4. Оценка в MATLAB спектра реальных сигналов в виде пачек	933
10.7. Вейвлет-анализ реальных осциллограмм в MATLAB	936
10.7.1. Вейвлеты против рядов Фурье	936
10.7.2. GUI средства для работы с вейвлетами	938
10.7.3. Вейвлет-анализ пачек различных сигналов	940
10.7.4. Вейвлет-очистка осциллограмм от шума	941
10.7.5. Вейвлет-анализ модулированных сигналов	944
10.7.6. Вейвлет-спектрограммы сложных сигналов	947
10.7.7. Дискретный диадический вейвлет-анализ	949
10.7.8. Скейлингграммы в новых версиях Wavelet Toolbox	950
10.8. Компьютерная математика в цифровых измерительных приборах	952
10.8.1. Применение СКМ, установленных на ПК, подключенных к приборам	952
10.8.2. Установка СКМ внутри прибора на его жесткий диск	954
10.8.3. Аппаратная реализация средств компьютерной математики в осциллографах	955
10.8.4. Компьютерная математика в анализаторах сигналов, спектра и цепей	959
Список литературы	970