

УДК 621.3.049.75:004.9Eagle
ББК 32.844.12-022c515
С42

Скарпино М.
С42 Разработка печатных плат в EAGLE / пер. с англ. А. Э. Бряндинского. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 370 с.

ISBN 978-5-97060-479-3

Книга известного американского специалиста посвящена пакету программ для разработки печатных плат EAGLE. Автор не просто показывает все особенности и возможности программы, он освещает технологические основы производства печатных плат и представляет способы и оборудование для этого.

Изучение материала основано на проектах реальных устройств – Arduino и BeagleBone, которые вполне можно собрать самостоятельно, прочитав книгу. Также большое внимание уделено автоматизации рутинных задач, возникающих перед инженерами.

Издание будет полезно радиолюбителям, радиоинженерам, схемотехникам и разработчикам печатных плат, а также студентам вузов и ссузов.

УДК 621.3.049.75:004.9Eagle
ББК 32.844.12-022c515

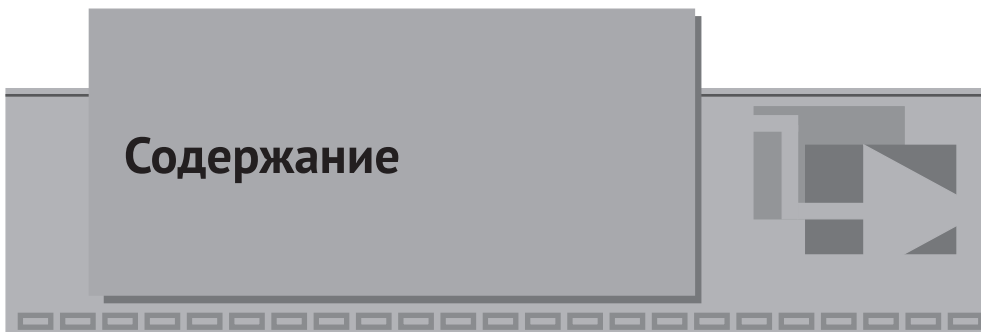
Authorized translation from the English language edition, entitled Designing Circuit Boards with Eagle: Make Hight Quality PCBs at Low Cast; ISBN 013381999X; by Scarpino, Matthew; published by Pearson Education, Inc., publishing as Addison-Wesley professional. Copyright © 2014 by Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc. RUSSIAN language edition published by DMK PUBLISHERS, Copyright © 2018.

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.

ISBN 978-0-13-381999-1
ISBN 978-5-97060-479-3

Copyright © 2014 Pearson Education, Inc.
© Оформление, издание, перевод,
ДМК Пресс, 2018



Предисловие	17
Благодарности	19
Об авторе	20

▼ Часть I

Введение	21
-----------------------	----

▼ Глава 1

Представление EAGLE	22
1.1. Ураганный тур по EAGLE	23
1.1.1. Библиотека компонентов	23
1.1.2. Редактор схем	24
1.1.3. Редактор печатных плат.....	25
1.1.4. Редакторы компонентов	25
1.1.5. Автотрассировщик.....	26
1.1.6. Процессор CAM.....	26
1.2. Получение EAGLE	27
1.3. Лицензирование.....	28
1.4. Организация этой книги.....	29
Часть I «Предварительное введение».....	29
Часть II «Разработка Arduino Femtoduino».....	29
Часть III «Дополнительные возможности».....	29
Часть IV «Автоматизация EAGLE».....	30

6 Содержание

Часть V «BeagleBone Black»	30
Архив файлов с примерами.....	30
1.5. Больше информации.....	30
1.5.1. Element14 – www.element14.com	31
1.5.2. SparkFun – www.sparkfun.com	31
1.5.3. YouTube – www.youtube.com	31
1.5.4. CadSoft – www.cadsoftusa.com/www.cadsoft.de	31
1.6. Заключение.....	32

▼ Глава 2

О печатных платах и их разработке в EAGLE.....33

2.1. Анатомия печатной платы.....	33
2.1.1. Электрорадиоэлементы и радиодетали	34
2.1.2. Однослойные платы.....	35
2.1.3. Двухслойные платы	38
2.1.4. Многослойные платы	39
2.1.5. Файлы Gerber и Excellon.....	40
2.2. Обзор проектирования схем в EAGLE	41
2.2.1. Создание проекта	41
2.2.2. Создание проекта схемы.....	42
2.2.3. Разработка печатной платы.....	44
2.2.4. Трассировка связей.....	45
2.2.5. Генерация рабочих файлов	46
2.3. Заключение.....	48

▼ Глава 3

Разработка простого устройства.....49

3.1. Инвертирующий усилитель	49
3.2. Первые шаги.....	51
3.2.1. Установка библиотеки EAGLE этой книги.....	51
3.2.2. Создание нового проекта и схемы	52
3.3. Схема инвертирующего усилителя	53
3.3.1. Инструменты на вертикальной панели инструментов	54
3.3.2. Добавление компонентов в проект.....	55
3.3.3. Терминология EAGLE	57
3.3.4. Соединения между символами	58
3.4. Компоновка платы	60

3.4.1. Создание проекта платы.....	60
3.4.2. Сетка.....	61
3.4.3. Размеры платы и начало координат.....	62
3.4.4. Компоновка платы.....	62
3.5. Трассировка	63
3.5.1. Автотрассировщик.....	64
3.5.2. Ручная трассировка.....	65
3.6. Процессор САМ	67
3.7. Заключение	70

▼ Часть II

Разработка Arduino Femtoduino	71
--	-----------

▼ Глава 4

Разработка схемы Femtoduino	72
--	-----------

4.1. Первые шаги.....	73
4.1.1. Создание нового проекта и схемы	74
4.1.2. Конфигурирование сетки	75
4.2. Кнопка сброса	76
4.3. Блок питания	79
4.4. Микроконтроллер ATmega328P.....	80
4.4.1. Конфигурация выводов ATmega328P	81
4.4.2. Рисование схемы – ATmega328P	82
4.5. Подключение разъемов.....	84
4.5.1. Разъемы плат расширения.....	84
4.5.2. Разъем внутрисхемного последовательного программирования (ICSP) AVR.....	85
4.6. Классы цепей (Net classes).....	86
4.7. Проверка электрических правил проектирования.....	87
4.7.1. Предупреждения ERC	88
4.7.2. Ошибки ERC	88
4.8. Генерация проекта платы.....	88
4.9. Оформление схемы.....	89
4.10. Атрибуты и варианты сборки.....	90
4.10.1. Глобальные переменные.....	90
4.10.2. Атрибуты, специфичные для компонентов.....	90
4.10.3. Варианты сборки.....	91
4.11. Заключение	92

▼ Глава 5

Трассировка и правила проектирования	93
5.1. Слои.....	93
5.1.1. Команда Display.....	93
5.1.2. Команда Mirror.....	96
5.2. Компоновка платы.....	96
5.2.1. Подготовка платы.....	96
5.2.2. Земляные слои и полигоны.....	97
5.2.3. Размещение компонентов в контуре платы.....	99
5.3. Проверка правил проектирования.....	102
5.3.1. Вкладка File.....	103
5.3.2. Вкладка Layers.....	104
5.3.3. Вкладка Clearance.....	105
5.3.4. Вкладка Distance.....	105
5.3.5. Вкладка Sizes.....	106
5.3.6. Вкладка Restraining.....	107
5.3.7. Вкладка формы Shapes.....	108
5.3.8. Вкладка Supply.....	109
5.3.9. Вкладка Masks.....	109
5.3.10. Вкладка Misc.....	110
5.4. Заключение.....	111

▼ Глава 6

Трассировка	112
6.1. Основы трассировки.....	112
6.2. Ручная трассировка.....	113
6.2.1. Простой пример.....	114
6.2.2. Подключение микроконтроллера к разъемам.....	115
6.2.3. Создание переходных отверстий.....	116
6.3. Следящая трассировка.....	118
6.4. Автотрассировщик.....	119
6.4.1. Общая конфигурация.....	119
6.4.2. Дополнительные параметры конфигурации.....	120
6.4.3. Работа автотрассировщика.....	122
6.5. Производство ПП на дому.....	123
6.5.1. Обзор.....	123
6.5.2. Метод переноса тонера.....	125
6.6. Заключение.....	126

▼ Глава 7

Генерация и представление рабочих файлов	128
7.1. Задание (Job) и процессор CAM.....	128
7.1.1. Процессор CAM.....	128
7.1.2. Файл задания femtoduino.cam.....	129
7.1.3. Загрузка файла задания.....	130
7.1.4. Выполнение задания	131
7.1.5. Создание новых заданий – трафареты для паяльной пасты	132
7.2. Просмотр файлов Gerber.....	133
7.3. Файлы сверловки.....	134
7.3.1. Файлы Excellon	135
7.3.2. Файлы информации об инструменте в EAGLE	136
7.3.3. Стек сверловки (drill rack).....	137
7.4. Передача рабочих файлов.....	138
7.4.1. OSH park	138
7.4.2. Advanced Circuits	139
7.4.3. Sunstone.....	142
7.4.4. Eurocircuits.....	144
7.4.5. Seeed Studio	145
7.5. Заключение	147

▼ Часть III

Расширенные возможности	148
--------------------------------------	------------

▼ Глава 8

Создание библиотек и компонентов.....	149
8.1. Создание библиотеки	149
8.1.1. Терминология EAGLE	150
8.1.2. Создание библиотеки.....	150
8.2. Создание SIMPLE-TQFP16.....	151
8.2.1. Создание символа SIMPLE	151
8.2.2. Создание корпуса TQFP16	154
8.2.3. Создание компонента SIMPLE-TQFP	156
8.3. Создание VACUUM-TH.....	157
8.3.1. Создание символа VACUUM.....	157
8.3.2. Создание TH9 Package.....	159
8.3.3. Создание компонента VACUUM-TH	160

10 Содержание

8.4. Создание TW9920	160
8.4.1. Создание TW9920 символ	161
8.4.2. Создание корпуса VFBGA100L-8X8	163
8.4.3. Создание компонента TW9920	167
8.5. Заключение.....	167

▼ Глава 9

Моделирование схем с LTspice	169
9.1. Введение в LTspice	169
9.1.2. SPICE и LTspice	170
9.1.3. Получение LTspice.....	170
9.1.4. Пример моделирования – инвертирующий усилитель.....	171
9.2. Разработка схемы	171
9.2.1. Добавление компонентов	172
9.2.2. Перемещение компонентов.....	174
9.2.3. Создание связей.....	175
9.2.4. Имена компонентов и номиналы.....	175
9.2.5. Именованные цепи.....	176
9.3. Моделирование схемы.....	178
9.3.1. Настройка параметров моделирования.....	178
9.3.2. Процесс моделирования.....	179
9.3.3. Конфигурирование среды моделирования	181
9.4. Обмен проектами с EAGLE	181
9.4.1. Импорт схем из LTspice в EAGLE.....	181
9.4.2. Экспорт схем EAGLE в LTspice.....	182
9.5. Заключение.....	183

▼ Часть IV

Автоматизация EAGLE	184
----------------------------------	------------

▼ Глава 10

Команды редактора.....	185
10.1. Введение в команды редактора	185
10.1.1. Синтаксис команд EAGLE	185
10.1.2. Выполнение команд.....	186
10.1.3. Подстановочные знаки и сокращенные формы.....	187
10.1.4. Определение точек.....	187

10.2. Команды редактора схем	188
10.2.1. Use	188
10.2.2. Add	189
10.2.3. name	189
10.2.4. value	190
10.2.5. attribute	190
10.2.6. smash	191
10.2.7. move	191
10.2.8. rotate	191
10.2.9. net	192
10.2.10. bus	193
10.2.11. label	193
10.2.12. frame	193
10.3. Команды для проектов плат	194
10.3.1. grid	194
10.3.2. layer	195
10.3.3. display	195
10.3.4. mirror	196
10.3.5. signal	196
10.3.6. ratsnest	196
10.3.7. route	197
10.3.8. ripup	197
10.3.9. via	197
10.3.10. auto	198
10.4. Команды интерфейса библиотеки	199
10.4.1. open	199
10.4.2. edit	199
10.4.3. write	200
10.4.4. wire	200
10.4.5. arc	200
10.4.6. rect	201
10.4.7. circle	201
10.4.8. pin	202
10.4.9. pad	204
10.4.10. smd	204
10.4.11. prefix	205
10.4.12. package	205
10.4.13. technology	206
10.4.14. connect	206
10.5. Команды assign, change и set	207
10.5.1. assign	208

12 Содержание

10.5.2. change	208
10.5.3. set.....	210
10.6. Скрипты конфигурации	211
10.7. Заключение	212

▼ Глава 11

Введение в User Language (UL)	214
11.1. Обзор UL.....	214
11.1.1. Выполнение ULP.....	215
11.1.2. ULP и программы на C.....	215
11.2. Простые типы данных и функции	216
11.2.1. Массивы	217
11.2.2. Строки	217
11.3. Встроенные элементы (Builtins)	218
11.3.1. Встроенные константы.....	219
11.3.2. Встроенные переменные.....	220
11.3.3. Встроенные функции.....	220
11.4. Структуры управления	223
11.4.1. Оператор if..else.....	223
11.4.2. Оператор switch..case.....	223
11.4.3. Циклы while и do..while.....	224
11.4.4. Цикл for	224
11.5. Оператор exit.....	225
11.6. Заключение	226

▼ Глава 12

Исследование проектов с User Language.....	227
12.1. Типы данных UL-Specific	227
12.1.1. Функции	228
12.1.2. Циклические функции	228
12.1.3. Структуры верхнего уровня и их исполняемые операторы	229
12.2. Проекты схем (UL_SCHEMATIC).....	229
12.2.1. Функции данных UL_SCHEMATIC.....	230
12.2.2. Создание перечня элементов: компоненты и атрибуты	231
12.2.3. Цепи и классы цепей.....	237
12.2.4. Листы и рамки	241
12.2.5. Варианты.....	242
12.3. Проекты плат (UL_BOARD).....	243

12.3.1. Компоненты в проекте платы (UL_ELEMENT и UL_PACKAGE)	244
12.3.1. Слои и полигоны.....	246
12.3.2. Сигналы и контакты.....	247
12.3.3. Отверстия и переходные отверстия	251
12.4. Заключение	254

▼ Глава 13

Создание диалоговых окон и пунктов меню.....	255
13.1. Стандартные диалоговые окна.....	255
13.1.1. Message box	256
13.1.2. Диалоговые окна папок.....	259
13.1.3. Диалоговые окна File Open и File Save	260
13.2. Особые диалоговые окна и виджеты	261
13.2.1. Создание нового диалогового окна	261
13.2.2. Виджеты меток и текстов	262
13.2.3. Кнопки	264
13.2.4. Виджеты редактирования.....	266
13.2.5. Виджеты списка	268
13.2.6. Флажки и счетчики	270
13.3. Разметка диалогов	271
13.3.1. Горизонтальные и вертикальные макеты.....	272
13.3.2. Разметка по сетке и ячейки	273
13.4. Команда menu.....	274
13.5. Заключение	275

▼ Часть V

The BeagleBone Black.....	276
----------------------------------	------------

▼ Глава 14

Проект схемы BeagleBone Black.....	277
14.1. Обзор BeagleBone Black	278
14.2. Сложные схемы в EAGLE.....	279
14.2.1. Листы.....	279
14.2.2. Секции и инструмент Invoke	280
14.2.3. Шины	281
14.3. Сигналы Memory/JTAG AM3359.....	282
14.3.1. Архитектура AM3359.....	282

14 Файлы библиотек EAGLE

14.4. Цепи ввода/вывода AM3359.....	285
14.4.1. Аналого-цифровое преобразование.....	285
14.4.2. Связь по I2C.....	286
14.4.3. Связь по SPI.....	287
14.5. Системная память.....	288
14.6. Блок питания.....	290
14.7. Ethernet и USB.....	292
14.7.1. Ethernet.....	292
14.7.2. USB.....	292
14.8. Графический дисплей.....	295
14.8.1. Шифрование HDCP.....	295
14.8.2. Transition-Minimized Differential Signaling (TMDS).....	295
14.9. Заключение.....	296

▼ Глава 15

Проект платы BeagleBone Black..... 297

15.1. Конфигурирование стека слоев.....	297
15.1.1. Слои земли и питания.....	298
15.1.2. Стек для четырехслойных плат.....	298
15.1.3. Стек слоев BBB.....	299
15.1.4. Конфигурация стека слоев BBB в EAGLE.....	300
15.2. Создание и трассировка корпусов BGA.....	301
15.2.1. Генерация корпуса BGA.....	301
15.2.2. Трассировка сигналов от контактных площадок BGA.....	303
15.3. Длина трасс и меандр.....	306
15.3.1. Получение длины трассы.....	306
15.3.2. Увеличение длины трассы.....	307
15.3.3. Трассировка дифференциальных пар.....	307
15.4. Проект платы BBB.....	309
15.4.1. Правила проектирования.....	310
15.4.2. Трассировка сигналов AM3359.....	311
15.5. Заключение.....	313

▼ Приложение А

Файлы библиотек EAGLE..... 314

A.1. Анатомия файла библиотеки.....	314
A.2. Настройки, сетка и слой.....	316

A.2.1. Настройки	316
A.2.2. Сетка	316
A.2.3. Слои	317
A.3. Обзор элементов библиотеки	317
A.4. Символы	319
A.4.1. Wire (Провода и линии)	321
A.4.2. Текст	321
A.4.3. Выводы	322
A.4.4. Полигоны и их вершины	323
A.4.5. Рамки	325
A.5. Корпуса	326
A.5.1. Контактные площадки для сквозного монтажа	327
A.5.2. Контактные площадки для поверхностного монтажа	329
A.6. Devicesets	330
A.6.1. Секции	330
A.6.2. Компоненты	332
A.7. Заключение	336

▼ Приложение В

Формат файлов Gerber	337
V.1. Основы формата Gerber	337
V.2. Настройка глобальных свойств	339
V.2.1. Format Statement оператор формата (FS)	340
V.2.2. Режим (MO)	341
V.2.3. Выбор оси (AS) (отменен)	341
V.2.4. Смещение (OF) (отменен)	341
V.2.5. Масштабный коэффициент (SF) (отменен)	341
V.2.6. Зеркальное отображение (MI) (отменен)	342
V.3. Определения апертур	342
V.3.1. Окружность	343
V.3.2. Прямоугольник	344
V.3.3. Прямоугольник со скругленными углами	344
V.3.4. Полигон	344
V.4. Рисование форм	345
V.4.1. Экспозиция и перемещение	345
V.4.2. Интерполяция и G-коды	347
V.5. Апертуры пользователя (специальные)	349
V.5.1. Окружность	351
V.5.2. Прямоугольник	351

В.5.3. Контур (Outline)	352
В.5.4. Полигон	353
В.5.5. Муар	353
В.5.6. Термал	354
В.5.7. Апертуры с несколькими примитивами.....	355
В.6. Заключение	356
Предметный указатель.....	357