

Содержание

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

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 Restrung.....	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

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

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

14.4. 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. Определение 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

Предисловие



Пока я писал эту книгу в 2013 году, движение мэйкеров (Makers) расцвело из крошечной группы умельцев в сообщество миллионов увлеченных. Любители стали предпринимателями, а предприниматели основали большие производства. Цены на 3D-принтеры стали приемлемы для среднего потребителя, а их возможности развились до такой степени, что они используются при изготовлении высокоточных деталей самолетов и медицинского оборудования. Многие экономисты и журналисты на полном серьезе уподобляют развитие движения Maker'ов второй Промышленной революции.

Лучше всего иллюстрирует успехи движения популярность платформы Arduino. Первый проект платы Arduino, USB Arduino, появился в 2005 г. и дал студентам и любителям дешевое средство для программирования микроконтроллеров Atmel. С тех пор были проданы сотни тысяч плат Arduino, причем семья Arduino расширилась и включает обширный список плат, модулей, наборов и аксессуаров. Платы Arduino нашли свое место в роботах, музыкальных инструментах, игровых платформах и даже в беспилотных летательных аппаратах. Платы стали столь популярными, так что многие любители, ставшие предпринимателями, используют их при работе над прототипами новых изобретений.

Но мэйкеры все время требуют большего: больших возможностей, большей доступности и большей гибкости. Для этого надо разрабатывать новые печатные платы, а это задача, требующая и специальных знаний, и особых программ. Большинство профессиональных средств проектирования недоступно среднему мэйкеру из-за цен на них, но с EAGLE это не так. Начиная с появления EAGLE в 1988 году у него непрерывно расширялись возможности и росла устойчивость, а цена оставалась доступной даже для ограниченных в средствах студентов. EAGLE обретает все новые легионы поклонников с каждой новой версией, и нет более ясной аналогии, чем такая: каков Arduino в аппаратных средствах, таков EAGLE в программном обеспечении. Неудивительно, что все open-source-проекты Arduino выпущены в формате EAGLE.

При написании этой книги моей задачей было показать мэйкерам, как использовать возможности EAGLE в полной мере. Нужны лишь понимание основ теории цепей, закон Ома и законы Кирхгофа, не более того. В книге нет анализа транзисторных схем или дифференциальных уравнений. Ведь моя цель –

преподать EAGLE практически, с прямой пользой, так чтобы читатели смогли разрабатывать настоящие печатные платы и вывели бы на рынок новые необычные гаджеты, придавая дополнительный импульс движению мэйкеров.

Мэттью Скарпино (Matthew Scarpino)

Структура этой книги

Эта книга представляет EAGLE как процесс разработки ряда проектов практических устройств – от простого инвертирующего усилителя и до одноплатного компьютера на шестислойной плате. По мере роста сложности схем я покажу самые широкие возможности EAGLE и объясню, как автоматизировать повторяющиеся задачи. В эту книгу также включено много материалов, помогающих читателям разобраться с основами технологии печатных плат и теорией схем, отобранных для примеров.

В главах 1, 2 и 3 вводятся понятия о проектировании печатных плат и об EAGLE в целом. Их основная цель – ознакомить вас с возможностями EAGLE и ввести терминологию, используемую в книге. В главе 3 рассмотрен полный проект тривиально простого устройства.

В главах 4–7 представлен проект практической печатной платы: Arduino Femtoduino. В этих главах выбран практический подход к изучению четырех главных этапов в разработке печатной платы: разработка схемы, размещение компонентов, трассировка соединений и создание файлов Gerber/Excellon.

В главах 8–13 рассмотрены темы, связанные с разработкой аппаратуры в EAGLE. Они включают моделирование схем, процесс создания собственных компонентов и важность автоматизации проектирования. Автоматизация – одна из самых сильных сторон EAGLE, но она же и одна из самых малоизвестных. Поэтому я настоятельно рекомендую ознакомиться с командами редактора и программами на User Language.

Главы 14 и 15 представляют самый сложный пример этой книги: проект BeagleBone Black. Такое название звучит, возможно, глуповато, но вот в самом устройстве ничего глупого нет. У него шестислойная плата, сотни компонентов и тысячи, тысячи разведенных трасс. По мере представления проекта я буду показывать широчайшие возможности EAGLE и способы использования в своих интересах автоматизации проектирования.

Архив с файлами примеров

В дополнение к тексту все проекты устройств, программы и дополнительные файлы в этой книге собраны в zip-файл под названием eagle-book.zip. Его можно свободно загрузить со страницы <http://eagle-book.com>. По мере изучения материала я рекомендую вам сравнивать теоретическое обсуждение с реальными проектами EAGLE. Кроме того, цветные рисунки для этой книги доступны на странице www.informit.com/title/9780133819991.

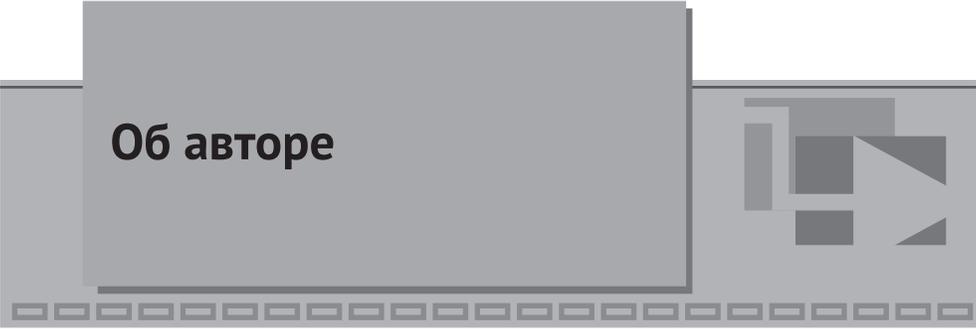
Благодарности



Прежде всего я хотел бы поблагодарить Bernard Goodwin из Pearson North America за его поддержку и мудрость во время создания этой книги. Благодаря его разумному руководству процесс написания был настолько гладок, насколько можно было только мечтать.

Я хотел бы выразить свою глубокую благодарность San Dee Phillips из Apostrophe Editing Services, отловившей множество моих ошибок в форматировании, орфографии и грамматике. Я также рад поблагодарить Betsy Gratner за ее веселое, но все же твердое руководство выпуском этой книги, Gloria Schurick за ее кропотливые усилия в наборе, Kathy Ruiz за ее проницательную корректуру и Laura Robbins за подготовку рисунков для этой книги.

Наконец, что не менее важно, я хотел бы выразить свои благодарности Bryan Bergeron из журнала Nuts & Volts Magazine, Richard Blum, автору книги Arduino for Beginners, и John Baichtal, автору книги Teach Yourself Arduino Programming in 24 Hours. Эти рецензенты смело просмотрели всю книгу в ее допечатном виде и дали много полезных предложений. Их комментарии упростили восприятие книги начинающими и расширили спектр тем.



Об авторе

Мэттью Скарпино – инженер с более чем 12 годами стажа в разработке аппаратного и программного обеспечения. У него есть степень магистра в электротехнике и диплом Advanced Certified Interconnect Designer (CID+). В настоящее время он живет в Массачусетсе, где разрабатывает программное обеспечение для встроенных систем. В свое свободное время он работает с EAGLE и разрабатывает аксессуары для своего смартфона на базе Android и для Google Glass.

ВВЕДЕНИЕ



Представление EAGLE



Приложения для разработки электроники можно разделить на две категории: первая – для крупных компаний, вторая – для всех остальных. Программы из первой категории высоконадежны, у них масса возможностей и хорошая техническая поддержка. Но эти преимущества и стоят соответственно. Вечная лицензия на Altium Designer – дороже 7000\$, а пакет OrCad от Cadence – почти 10 000\$.

Приложения из второй категории дешевле, они доступны и студентам, и любителям, и малым или средним компаниям. К сожалению, они часто ненадежны и полны ошибок. Без технической поддержки этих трудностей не преодолеть. Еще хуже то, что компании, выпускающие такие приложения, обычно столь же шатки, сколь и их продукты, и часто пропадают еще до завершения контрактов на поддержку.

EAGLE от CadSoft не таков. Easily Applicable Graphical Layout Editor (Система проектирования схем электрических принципиальных и печатных плат) сочетает лучшее из обоих миров: качество первой категории по цене второй. EAGLE появился в 1988 году, и с каждым годом он улучшался – и по возможностям, и по надежности. В нем есть все, что нужно для разработки печатных плат, и за тысячи часов работы у автора он ни разу не «упал». Большинство проблем можно решить на многочисленных онлайн-форумах, а также есть множество онлайн-публикаций.

У EAGLE один главный недостаток: его интерфейс. Рядовой пользователь Windows привык к определенному порядку работы с приложениями. Обычно и элементы панели инструментов, и работа с мышью единообразны. А вот у EAGLE своя собственная, уникальная среда, поэтому запустить приложение и понять сразу, как все работает, почти невозможно. Нужно время для ознакомления со всеми редакторами, диалогами, меню и командами. Проектирование электронных устройств – само по себе занятие непростое, поэтому многие новички, попробовав работать с EAGLE, сдаются.

Цель автора – упростить изучение EAGLE. В данной книге процесс разработки схем рассмотрен последовательно, от простой схемы (инвертирующий усилитель) к схеме средней сложности (Arduino Femtoarduino) и наконец – сложное изделие (BeagleBone Black). Рассматриваются и интерфейс EAGLE, и сам процесс разработки печатных плат.

В этой книге рассмотрены не только действия с мышью и клавиатурой, значительная ее часть посвящена автоматизации работы. В EAGLE встроен развитой командный язык как для скриптов, так и для целых программ на User Language, называемых ULP. При точном понимании процесса программного синтеза схемы нудные повторяющиеся задачи можно выполнять одной командой, вызывающей нужную программу. Автоматизация сокращает число ошибок и заметно увеличивает скорость работы.

1.1. Ураганный тур по EAGLE

EAGLE – приложение для разработки печатных плат. И состоит EAGLE из шести частей:

- библиотека компонентов – набор компонентов для проектов;
- редактор схем – редактор принципиальных схем проекта;
- редактор плат – редактор для размещения компонентов и трассировки соединений на печатных платах;
- редактор компонентов – редактор для разработки новых компонентов;
- автотрассировщик – инструмент для автоматической трассировки соединений элементов на ПП;
- процессор CAM (Computer Aided Manufacturing) – интерфейс создания gerber-файлов и файлов сверления (excelon), необходимых для изготовления печатных плат на производстве.

В этом разделе кратко рассмотрены как все эти части, так и их место во всем процессе разработки РЭА.

1.1.1. Библиотека компонентов

Одно из самых важных качеств любой среды проектирования схем – набор доступных в ней компонентов. Такой набор называют библиотекой, и чем она больше, тем меньше времени разработчик потратит на новое изделие.

Со временем набор библиотек EAGLE разросся до многих тысяч компонентов – от электронных ламп до FPGA.

Независимо от сложности проекта велики шансы на то, что в библиотеках EAGLE уже есть большинство нужных деталей. Если же их нет, на сайте <https://cadsoft.io/resources/libraries/> есть множество библиотек для бесплатной загрузки. Если нужного компонента нет и там, то в главе 8 «Создание библиотек и компонентов» показано, как разработать свои собственные компоненты.

Одна из новинок в EAGLE 6 – новый формат файлов библиотек. Каждая из библиотек Eagle имеет расширение *.lbr, а формат их – XML (расширяемый язык разметки), популярный во всем компьютерном мире. В приложении А «Файлы библиотек EAGLE» показана XML-схема, определяющая структуру файлов библиотек EAGLE.

1.1.2. Редактор схем

Проверив наличие компонентов для новой схемы, их надо выбрать и соединить между собой в проекте схемы – пример показан на рис. 1.1.

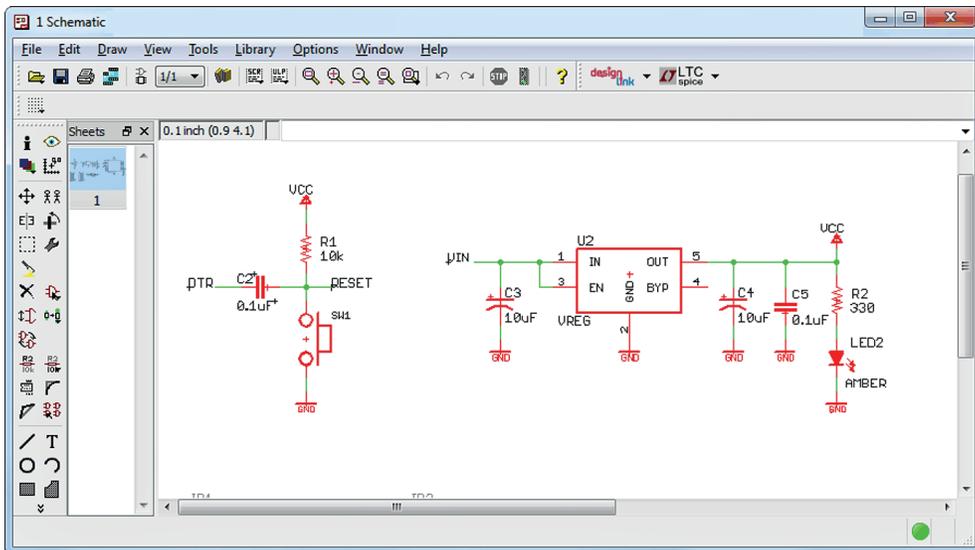


Рис. 1.1. Редактор схем EAGLE

Как и в большинстве редакторов схем, информация в проекте должна отражать четыре аспекта:

- какие компоненты используются в проекте;
- соединения между выводами компонентов;
- наименование и номиналы компонентов;
- типы соединений между компонентами.

В редакторе схем EAGLE разработать принципиальную электрическую схему не составит особого труда. Надо выбрать компонент из библиотеки, поместить его в нужное место и нарисовать соединения между ним и другими элементами. Позже компонентам задаются позиционные обозначения и номиналы, например сопротивление резисторов измеряется в омах. В главе 3 «Разработка простой схемы» и в главе 4 «Разработка схемы Femtoduino» редактор схем рассмотрен подробнее.

1.1.3. Редактор печатных плат

По завершении разработки схемы в EAGLE создается файл платы (с расширением *.brd), рисуется ее контур и начинается проектирование. В качестве примера, на рис. 1.2 изображена простейшая печатная плата, разработанная в редакторе ПП программы Eagle.

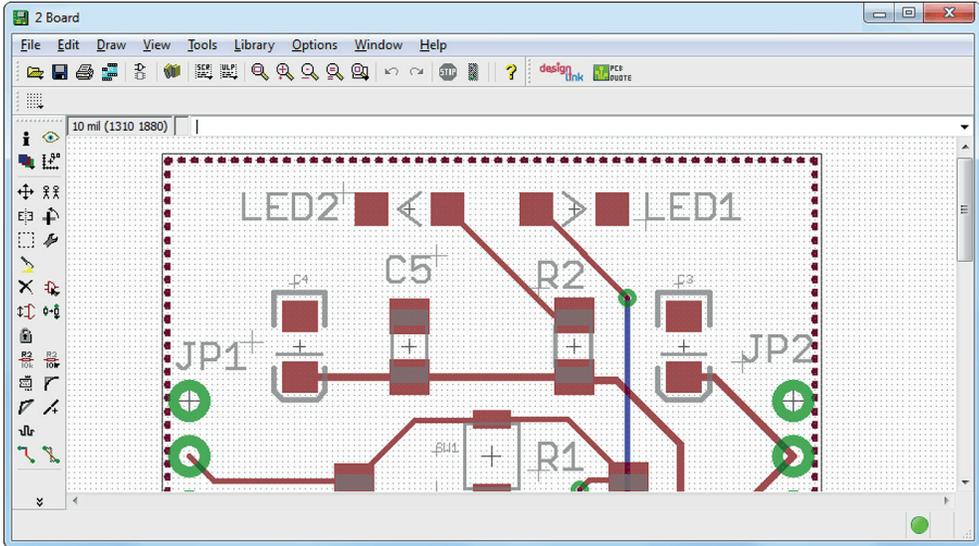


Рис. 1.2. Редактор плат EAGLE

В этом редакторе разработчик размещает корпуса, соответствующие компонентам в схеме. При размещении учитываются не только координаты x и y, но и их расположение на верхнем или нижнем слое платы.

1.1.4. Редакторы компонентов

Если в библиотеке EAGLE нет нужного элемента, то в редакторах компонентов создается новый. Это делается в три этапа:

- 1) создается условно-графическое обозначение компонента. Это будет символ;
- 2) создается посадочное место. Это будет корпус;
- 3) создается связь между символом и корпусом. Это будет компонент.

В EAGLE для компонентов есть редакторы символов и корпусов. Их называют редакторами для создания компонентов. На рис. 1.3 изображены условно-графическое обозначение и посадочное место (корпус) одного и того же элемента.

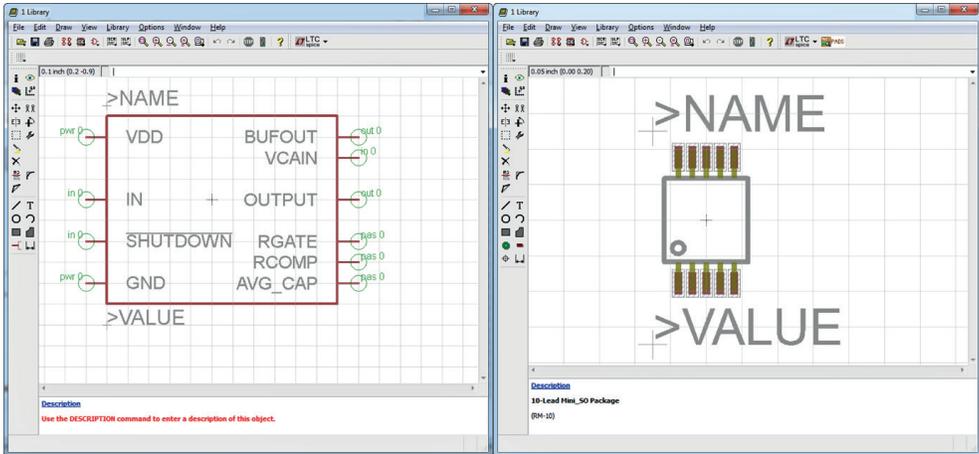


Рис. 1.3. Редакторы компонентов EAGLE

Слева на экран выведен символ компонента SSM2167 от Analog Devices. Справа на экран выведен корпус компонента, используемый в проектах плат.

Необходимо совершенно четко уяснить для себя значение терминов «символ» и «корпус», являющимися составными частями одного целого – компонента. Они встречаются повсюду в этой книге, а в главе 8 рассмотрена последовательность действий по созданию новых компонентов. В приложении А рассмотрен формат файлов, используемых EAGLE для сохранения этих наработок.

1.1.5. Автотрассировщик

После размещения компонентов на плате следует создать соединения между ними. Это называют трассировкой и этот процесс бывает сложным и длительным даже в самых передовых средствах проектирования.

Автотрассировщик EAGLE упрощает процесс трассировки и дает тот или иной вариант соединений между элементами схемы. Трассировку плат для больших схем выполнить целиком в автоматическом режиме обычно не получается. Однако если разработчик создаст несколько трасс вручную, то автотрассировщик сможет завершить задачу. В главе 6 «Трассировка» показаны все возможные способы трассировки, поддерживаемые EAGLE.

1.1.6. Процессор CAM

Большинство изготовителей не принимает файлов проектов EAGLE, поэтому в EAGLE есть процессор CAM (Computer Aided Manufacturing, Система автоматизированного производства. Далее будет использоваться только английское сокращение. – Прим. перев.), он преобразует проекты EAGLE в различные форматы. На рис. 1.4 показано диалоговое окно процессора.

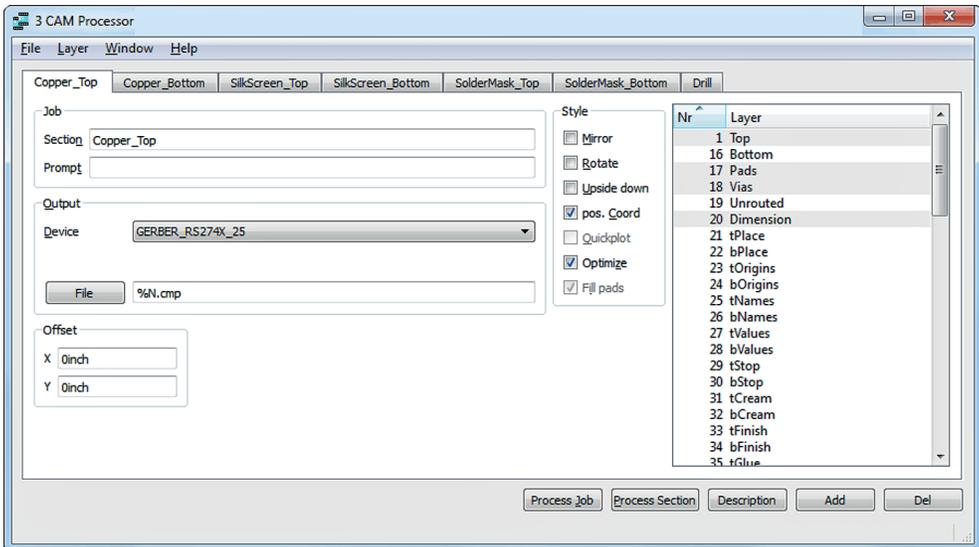


Рис. 1.4. Процессор CAM

При нажатии на кнопку **Process Job** CAM Processor создаст файл, содержащий технологическую информацию, необходимую для производства печатной платы. Разработчик может загрузить готовое задание (job) для создания такого файла из программы Eagle (файлы с расширением *.cam) или создать новое задание с нуля. Таким образом, созданные файлы будут содержать всю необходимую информацию для изготовления печатной платы на производстве.

Для изготовления печатной платы большинству изготовителей нужны файлы двух типов. Геометрия и соединения для платы обычно задаются в файле формата RS-274X, называемого также форматом Gerber. Диаметры, типы и местоположения отверстий обычно задаются в файле формата Excellon. Процессор CAM позволяет создать файлы обоих типов.

1.2. Получение EAGLE

Компания CadSoft до предела упростила «знакомство» с EAGLE. Программу можно испытывать без всяких регистраций или оплат, просто загрузив исполняемый файл. Если нужны дополнительные возможности, то есть несколько вариантов покупки, лицензирования и регистрации.

Если есть нужная операционная система и подключение к Интернету, то нужно загрузить всего один файл. В настоящее время EAGLE работает в следующих операционных системах:

- Windows 8, Windows 7, Windows Vista или Windows XP;
- Mac OS 10.6, 10.7 с процессорами Intel;
- Linux (ядро 2.6), процессоры Intel, 32-разрядная среда.

Официальный веб-сайт CadSoft – <http://www.cadsoft.de>, однако сохранить программу на компьютер можно также и с других проверенных ресурсов, например с <http://www.cadsoftusa.com>. С этих сайтов можно загрузить EAGLE. Для этого необходимо будет найти ссылку Downloads в верхнем меню и выбрать Download EAGLE. Откроется страница со ссылками на загрузку версий для Windows, Linux и Mac OS.

1.3. Лицензирование

При первом запуске EAGLE появится диалоговое окно с опциями ввода ключа лицензии или же работы с программой, как с Freeware (бесплатным ПО). С опцией Freeware EAGLE запускается в специальной конфигурации, называемой Freeware версией EAGLE Light. Он дает бесплатный доступ к работе, но с ограниченным набором возможностей. Кроме того, эту версию можно использовать только для оценки или в некоммерческих целях. Для разработки плат за деньги CadSoft требует покупки лицензии.

У EAGLE есть четыре типа лицензий для различных кругов разработчиков ПП. У каждого типа своя цена и набор возможностей (чем выше цена, тем их больше). В частности, типом лицензии определяются максимальное число листов схемы, максимальное количество слоев у платы и максимальная площадь трассировки. В табл. 1.1 перечислены особенности различных лицензий.

Таблица 1.1. Особенности лицензий EAGLE

Лицензия	Число листов	Число слоев	Площадь трассировки в кв. мм
Простая (Light)	1	2	100×80
Любитель (Hobbyist)	99	6	160×100
Стандарт (Standard)	99	6	160×100
Профи (Professional)	999	16	4000×4000

Закономерен вопрос, чем отличаются лицензии Любитель и Стандарт. Лицензия Любитель намного дешевле, но допускает использование EAGLE только в некоммерческих целях. CadSoft требует в связи с этим подписания соответствующего заявления.

В табл. 1.1 цены на эти лицензии не приведены по трем причинам:

- 1) цены на EAGLE все время меняются, и любая выставленная цена со временем изменится;
- 2) CadSoft не продает EAGLE в виде интегрированного приложения для лицензий Стандарт и Профи. В этом случае EAGLE состоит из трех частей (редактор схем, автотрассировщик и редактор плат), и каждая продается отдельно;
- 3) для лицензий Стандарт и Профи цена зависит от числа одновременно работающих пользователей.

Полная структура цен на EAGLE приведена на веб-сайте CadSoft. Цены в долларах США есть по ссылке <https://cadsoft.io/pricing/>.

При написании этой книги не учитывалось, что у читателей куплены лицензии и есть ли они вообще. В книге рассмотрены все аспекты EAGLE, и если в том или ином случае та или иная функция недоступна, можно просто пропустить соответствующий раздел. Первый и второй примеры схем можно изучать с любой из лицензий, а для заключительного проекта (рассмотрен в главах 14 «Проект схемы BeagleBone Black» и 15 «Проект платы BeagleBone Black») потребуются расширенные права на данное программное обеспечение.

1.4. Организация этой книги

Эта книга структурирована так, что материал распределен от простого к сложному и от основ до эзотерики. Причем главы в данной книге можно разделить на пять разделов, в которых рассматриваются определенные свойства или особенности EAGLE.

Часть I «Предварительное введение»

В первой части этой книги представлена информация для новичков как в разработке ПП, так и в самом EAGLE. В главе 2 «Обзор печатных плат и EAGLE» объясняется, что такое печатные платы и как их делают, а также вводится терминология, используемая в этой книге. В этой же главе рассмотрен весь процесс проектирования печатных плат (ПП) в EAGLE.

Глава 3 «Разработка простой схемы» дополняет это введение. В ней предложены проекты схемы и платы простенького усилителя. Он не предназначен для серии, но все рассмотренные этапы разработки будут полезны неопытным читателям.

Часть II «Разработка Arduino Femtoduino»

Вторая и самая большая часть книги посвящена разработке Arduino Femtoduino. Семейство плат Arduino весьма популярно среди любителей и профессионалов, и в главах 4–7 показано, как разработать подобное устройство. В главе 4 «Разработка схемы Femtoduino» показано, как создать схему, а в главе 5 «Размещение и правила проектирования» показано, как размещать корпуса в редакторе плат.

В главе 6 «Трассировка» рассмотрен процесс проверки на соответствие правилам проектирования и показано, как выполнить трассировку Arduino Femtoduino. Наконец, в главе 7 «Подготовка и выпуск рабочих файлов» представлен процессор Computer Aided Manufacturing (CAM) и показано, как генерировать рабочие файлы для Femtoduino.

Также представлены пять компаний, предлагающих услуги по изготовлению ПП, – они принимают рабочие файлы и поставляют готовые печатные платы.

Часть III «Дополнительные возможности»

Следующая часть книги раскрывает две темы, обычно не связанные напрямую с проектами схемы/платы. В главе 8 «Создание библиотек и компонентов» рас-

смотрены процессы создания пользовательских компонентов для EAGLE на примере двух проектов. В первом создаются символ и корпус для компонента с выводами для сквозного монтажа на печатную плату (through-hole), а во втором – символ и корпус для компонента с выводами, предназначенными для поверхностного монтажа (SMD).

В главе 9 «Моделирование схемы в LTspice» изучается одна из новейших и самых интересных функций EAGLE: моделирование схемы в LTspice. LTspice – свободно загружаемое приложение для моделирования, в котором можно нарисовать схему, обозначить входы и моделировать работу схемы. Комбинируя EAGLE и LTspice, можно проверить проект на работоспособность перед отсылкой его в производство.

Часть IV «Автоматизация EAGLE»

Четвертая часть этой книги фокусируется на автоматизации работы в EAGLE, с помощью сценариев и файлов программ. В главе 10 «Редактор команд» рассмотрен командный язык EAGLE, с ним работаем в текстовом формате. Например, команда `add` добавляет в схему или на плату новый компонент, а команда `auto` запускает автотрассировщик.

В главах 11–13 показано, как писать программы на User Language (ULP) для автоматизации разработки схем. В этих главах приведено много полезных примеров, упрощающих работу в EAGLE и сокращающих время разработки документации.

Часть V «BeagleBone Black»

Последние две главы этой книги посвящены разработке BeagleBone Black. Это современная шестислойная ПП, содержащая сотни компонентов, причем некоторые из них – в корпусах ball grid array (BGA). BeagleBone Black непрост в разработке, но он весьма популярен среди программистов из-за его экстраординарной вычислительной мощности.

Архив файлов с примерами

Все проекты, программы и файлы, обсуждаемые в этой книге, сведены в архив, и он есть в свободном доступе онлайн. Архив называется `eagle-book.zip`, и его можно загрузить с сайта <http://eagle-book.com>.

1.5. Больше информации

Одно из главных преимуществ EAGLE – огромное количество информации о нем. Какая бы проблема ни появилась, наверняка окажется, что кому-то подобное уже встречалось и есть решение. Эту книгу дополняют еще четыре настоятельно рекомендуемых источника информации.

1.5.1. Element14 – www.element14.com

EAGLE выпускается и поддерживается компанией CadSoft, но в 2009 г. CadSoft был куплен Farnell PLC, дистрибьютором электронных компонентов. В том же году Premier Farnell создала element14, онлайн-сообщество для поддержки разработчиков. Оно за эти годы разрослось, и каждый день на его форумы заходят сотни разработчиков, задающих вопросы или отвечающих на них. Кроме того, там есть библиотека документации и видеоматериалы по разработке электроники.

EAGLE – не единственная тема, обсуждаемая в element14, но подфорум, посвященный поддержке EAGLE, – одно из самых оживленных мест на сайте. Пользователи задают вопросы в пределах от трудностей доступа к записям библиотек до преобразования форматов файлов для их использования с другими инструментами. Там часто отвечает на вопросы Richard Hammerl, главный технический специалист CadSoft, то есть подфорум почти так же хорош, как полноценная профессиональная поддержка.

1.5.2. SparkFun – www.sparkfun.com

В 2003 г. Nathan Seidle основал SparkFun Electronics с целью «сделать электронику доступной для среднего человека». На этом сайте продаются средства разработки и наборы, например платы Arduino, и там также есть статьи, связанные с разработкой. Список учебных руководств включает пайку SMT, программирование, робототехнику и, конечно, EAGLE. Nathan Seidle написал ряд статей, посвященных EAGLE, и у SparkFun есть свои сценарии для EAGLE, программы и настройки выходных файлов для процессора CAM.

Форум SparkFun очень активен, и на его подфорумах обсуждают самые разные темы – и разработку беспроводных радиочастотных устройств, и проекты с GPS, и сроки поставок у изготовителей. На подфоруме PCB Design Questions многие пользователи EAGLE оставляют вопросы и получают ответы.

1.5.3. YouTube – www.youtube.com

Если искать EAGLE и PCB или CadSoft на YouTube, то найдется много роликов, посвященных работе с EAGLE. Некоторые уже устарели, но все вместе они будут удобным введением в эту сложную тему.

1.5.4. CadSoft – www.cadsoftusa.com/www.cadsoft.de

Естественно, рекомендуется главный сайт CadSoft, где представлено много документации по EAGLE. На сайте особо интересна ссылка Downloads, по ней можно найти и загрузить дополнительные библиотеки, разные ULP и готовые проекты EAGLE.

1.6. Заключение

Автор начал работать в EAGLE примерно в 2003 году, и уже тогда программа радовала своими возможностями, однако огорчала ее нестабильность (программа «вылетала» по крайней мере три раза за час). Пользователи на форумах возмущались нестабильностью EAGLE и обменивались способами борьбы с ошибками. CadSoft сосредоточился на решении проблем со своим программным обеспечением, и в течение десяти лет большинство проблем было решено. Сейчас вместо жалоб пользователи яростно защищают приложение.

Автор – преданный пользователь EAGLE, и цель написания этой главы – объяснить, в чем прелесть этой программы. В EAGLE есть полный комплект инструментов проектирования, включая редактор схем, редактор плат, редакторы компонентов и процессор САМ. В библиотеках тысячи и тысячи электронных компонентов. Программа стабильна, работает быстро, а если возникают проблемы, то для их решения есть множество онлайн-ресурсов.

Одна из причин популярности EAGLE – щедрость его лицензий. Пакет можно бесплатно испытать и продолжить непрерывно его использовать. Если же понадобятся дополнительные возможности, то можно купить лицензию, причем достаточно дешево.