Марк Е. Хернитер

10 увлекательных проектов аналоговой электроники

ДМК ПРЕСС
ИЗДАТЕЛЬСТВО
Москва

Cool Circuits

Marc E. Herniter
Associate Professor
ECE Departament
Rose-Hulman Institute of Technolody



Upper Saddle River, New Jersey Columbus, Ohio

10 увлекательных проектов аналоговой электроники

Марк Е. Хернитер
Адъюнкт-профессор
Технологический институт Rose-Hulman

ДМК ПРЕСС
ИЗДАТЕЛЬСТВО
Москва

УДК 621.375.132
ББК 32.846.6

Х39

Хернитер Марк Е.

Х39 10 увлекательных проектов аналоговой электроники / Марк Е. Хернитер ; Пер. с англ. — М. : ДМК Пресс. — 176 с., ил.

ISBN 5-94074-349-8

В этой книге рассматриваются несколько случаев и примеров разработки проектов, отобранных с одной, ярко выраженной целью, — продемонстрировать читателям несколько полезных стильных «штучек», которые могут быть созданы с использованием аналоговой техники. Подобные примеры поощряют далее изучать аналоговую электронику, а также демонстрируют, в каких областях техники аналоговая электроника все еще сохраняет свой немалый потенциал. В качестве примеров схемотехнических решений были выбраны: схема управления вентилятором, предназначенным для задувания пламени свечи, с использованием полупроводникового диода в качестве температурного датчика, датчик присутствия кровососущих летающих насекомых, использующий ИК-диод и фототранзистор, электрошок, развивающий напряжение на выходных электродах порядка 1 000 В при питании схемы от батареек с напряжением 18 В, схема умножителя напряжения, а также схема управления частотой вращения электродвигателя постоянного тока.

Издание может быть полезно радиолюбителям начинающего и среднего уровня подготовки, а также студентам младших курсов, изучающих аналоговую электронику.

УДК 621.375.132
ББК 32.846.6

Authorized translation from the English language edition, entitled **Cool Circuits**, by MARC E. HERNITER, published by Pearson Education, Inc., Copyright ©.

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 ©.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 0-13-119343-0 (англ.)
ISBN 5-94074-349-8 (рус.)

Copyright © by Pearson Education, Inc.
© Перевод на русский язык, оформление, ДМК Пресс

Содержание

Предисловие 7

Проект 1. Вентилятор помогает задуть "волшебные" свечи, зажигаемые в честь именинника 9

1.1. Датчик температуры 9
1.2. Источник постоянного тока 13
1.3. Температурно-чувствительная схема сравнения 17
1.4. Транзисторная схема управления большими токами 20

Проект 2. Патрубок пылесоса, оснащенный ИК-датчиком для всасывания кровососущих насекомых 25

2.1. Источники ИК-излучения и их приемники 26
2.2. Датчик, реагирующий на присутствие крылатых насекомых 29
2.3. Схема сравнения (компаратор) 30
2.4. Схема управления работой пылесоса 34
2.5. Источник питания 39
2.6. Окончательный вариант всей схемы 39

Проект 3. Электроукалыватель Клингона 41

Проект 4. Оглушающее электрошоковое устройство (преобразователь, повышающий напряжение с 18 до 1 000 В) 47

4.1. Полная схема 53

Проект 5. Регулировка скорости вращения двигателя постоянного тока 56

5.1. Метод широтно-импульсной модуляции 58
5.2. Переключающие приборы 61
5.3. Схема широтно-импульсного модулятора 65
5.4. Генератор пилообразного напряжения 70

Проект 6. Электронная "электроплитка" для поджаривания сосисок 75

6.1. Автотрансформатор с плавной регулировкой 77
6.2. Регулятор мощности с широтно-импульсной модуляцией 79
6.3. Полная схема устройства для зажаривания сосисок 86
6.4. Конструкция электродов 89
6.5. Форма напряжения и зажаренные сосиски 90

Проект 7. Усилитель низкой частоты с магической обратной связью 93
7.1. Немного теории 93
7.1.1. Усилители мощности 93
7.1.2. Операционный усилитель, рассчитанный на большие токи 100
7.1.3. Обратная связь 102
7.2. Двухтактный усилитель с обратной связью 103
Проект 8. Тепловая нестабильность (разрушение) двухтактного усилителя 113
8.1. Двухтактный усилитель с фиксированным смещением 114
8.2. Тепловая неустойчивость двухтактной схемы 119
8.3. Устранение тепловой нестабильности 125
Проект 9. Выносливый ограничитель бросков напряжения 129
9.1. Приборы, защищающие от перенапряжения 131
9.2. Принципиальная схема ограничителя бросков напряжения 139
9.3. Схема подавления бросков напряжения с фильтром 144
9.4. Выносливый ограничитель бросков напряжения 147
Приложение А 152
Список литературы 163
Предметный указатель 165

Предисловие

Данная книга пытается ответить на часто встречающиеся вопросы: "Зачем мы это делаем?" и "Для чего это используется?", которые студенты задают во время изучения первого и второго циклов по аналоговой электронике, включенных в программы обучения большинства институтов. В классических областях знаний, подобно аналоговой электронике, не очень просто вызвать интерес студентов к изучаемому предмету. Наша культура уже приучила людей думать, что цифровая техника — это светлый и широкий путь в будущее. Компьютеры созданы на базе цифровой техники. Сотовые телефоны тоже. Мы пользуемся цифровыми фотоаппаратами. Телевидение также переходит на цифровой формат. Во всех окружающих нас промышленных товарах со временем также станет использоваться цифровая техника обработки сигналов, прежде всего, управления и контроля. Современные студенты уже не представляют себе каких-либо областей, в которых они соприкасались бы с аналоговой техникой, поэтому они просто не в состоянии даже замечать тех любопытных, а иногда и просто забавных примеров использования аналоговой электроники в нашей жизни. Такое положение необходимо просто менять.

В этой книге рассматриваются несколько случаев и примеров разработки схем, отобранных с одной, ярко выраженной целью, — продемонстрировать студентам несколько полезных стильных "штучек", которые могут быть созданы с использованием аналоговой техники. Подобные примеры поощряют студентов изучать более продвинутые курсы аналоговой электроники, а также демонстрируют им, в каких областях техники аналоговая электроника все еще сохраняет свой немалый потенциал. Используемые примеры направлены на первый и второй этапы изучения электроники в течение курса, длящегося два семестра. В качестве примеров для студентов первого этапа обучения выбраны: схема управления вентилятором, предназначенным для задувания пламени свечи, в которой используется полупроводниковый диод в качестве температурного датчика, датчик присутствия кровососущих летающих насекомых, использующий ИК-диод и фототранзистор, электрошок, развивающий напряжение на выходных электродах порядка 1 000 В при питании схемы от батареек с общим напряжением 18 В, схема умножителя напряжения, а также схема управления частотой вращения электродвигателя постоянного тока.

Цель выбранного в книге стиля изложения заключается в том, чтобы создать такие увлекательные примеры, которые помогли бы заинтересовать студентов в процессе изучения курса аналоговой электроники в сравнении с другими курсами, а также проиллюстрировать некоторые основные положения, изучаемые в аудитории. Например, в случае датчика, реагирующего на присутствие летающих насекомых, рассматривается использование биполярного транзистора в качестве переключающего элемента; в случае с электрошоком иллюстрируется основополагающий принцип, что электрический ток, протекающий в катушке индуктивности, не может мгновенно снизиться

до нулевого значения, а пример с тепловой нестабильностью характеристик биполярного транзистора иллюстрирует отрицательный температурный коэффициент биполярного транзистора. В каждом примере рассматривается законченная схема, причем большинство схем по уровню своей сложности доступны для понимания студентами назначения каждого элемента схемы. В силу этого студенты понимают работу схемы, в состоянии рассчитать ее и самостоятельно собрать, что будет представлять далеко не простую функцию на самом раннем этапе их инженерной карьеры.

Примеры из книги могут быть использованы в качестве дополнительного материала, способствующего обучению студентов, либо в качестве практических демонстраций на занятиях в аудитории.

Замечания и предложения

Автор с благодарностью примет любые замечания и предложения относительно содержания этой книги. Предложения по созданию новых оригинальных и нетривиальных схем будут приветствоваться особенно. Просьба совершенно свободно обращаться к автору книги, используя для этого любой из предлагаемых ниже способов:

- Электронная почта: Marc.Herniter@ieee.org
- Телефон: (812) 877-8512
- Факс: (812) 877-8895
- Почтовый адрес: Rose-Hulman Institute of Technology, CM123, 5500 Wabash Avenue, Terre Haute, IN 47803-3999

Благодарности автора

Мне хотелось бы поблагодарить студентов Технологического института Розе-Хулман (Rose-Hulman), вдохновивших меня на создание этого труда. Они помогли понять мне, что эта книга необходима, и они же вознаградили меня своим интересом и энтузиазмом. Мне также хотелось бы выразить свою признательность Патрику Уорланду(Patrick Worland) из компании Рейтион Миссайл Системз (Raytheon Missile Systems) и Джеймсу Си Браейткраейтцу (James C. Brietkrietz) из компании Ханиуэлл Аэроспейс Электроник Системз (Honywell Aerospace Electronic Systems) за то, что они нашли время прочесть эту книгу и выразить ряд свежих предложений, которые действительно помогли мне улучшить книгу. И это является прямым доказательством того, что если вы прочтете эту книгу, то и у вас, возможно, когда-нибудь возникнет желание привнести что-то свежее в дело применения аналоговых схем в современной электронике.

Проект 1

Вентилятор помогает задуть "волшебные" свечи, зажигаемые в честь именинника

Наш первый проект относится к устройству, которое позволяет непрерывно задувать свечку, традиционно помещаемую в середину торта и зажигаемую на днях рождения, но которая имеет одну досадную и надоедливую особенность — произвольно самовоспламеняться вновь и вновь после того, как несчастная жертва дружеского розыгрыша уже задула ее пламя. Возможно, вам приходилось бывать на подобных празднованиях дня рождения, на которых хозяин исподтишка использовал свечи, которые якобы волшебным образом повторно загорались сами собой. Неискушенный почетный гость празднества гордо задувает все праздничные свечи только затем, чтобы быть удивленным, что огонь на них самопроизвольно разгорается вновь после успешно выполненной им миссии. После чего он, оказавшись в центре всеобщего внимания, пытается повторить операцию еще несколько раз, затем, стараясь с честью пройти испытание, начинает дуть с утроенной силой, иногда даже забрызгивая слюной весь торт. На самом деле подобные "волшебные" свечи не представляют собой ничего магического, так как свечи такого рода воспламеняются вновь от особого поджигающего устройства, тем не менее, представление подобного рода является весьма забавным для наблюдающих за ним со стороны. Если вы соберете предлагаемую на рис. 1.1 схему, то вам никогда больше не понадобится самостоятельно гасить такие "волшебные" свечи, оказавшись жертвой подобной шутки. И в следующий раз, когда вы окажетесь приглашенными в качестве почетного гостя на чей-нибудь день рождения, то вы сможете прихватить с собой собранную схему и оказаться в роли человека, который хорошо смеется последним. После того как вы заметите подобную "волшебную" свечу, вам останется только достать свою схему и спокойно оставаться в центре внимания.

1.1. Датчик температуры

В данной схеме в качестве датчика, реагирующего на температуру пламени свечи, используется полупроводниковый диод. Как только диод нагревается до достаточно высокой температуры, включается электровентилятор, который и задувает свечу. После этого диод естественным образом остывает, и электровентилятор выключается.

Спустя некоторое время свеча вновь "волшебным образом" самовозгорается и вновь нагревает своим пламенем полупроводниковый диод. Диод вновь реагирует на увеличение температуры и опять включает электровентилятор, который опять-таки задувает пламя свечи. Эта циклически действующая обратная связь будет обеспечивать эффект гашения свечи дот тех пор, пока "волшебная" свеча не перестанет загораться вообще, или же пока ею не перестанут пользоваться.

В рекомендуемой для этих целей схеме в качестве датчика температуры используется полупроводниковый диод, имеющий p-n переход, а также источник напряжения постоянного тока и датчик температуры, управляющий работой электровентилятора. Следует напомнить, что если величина тока, протекающего через p-n переход диода, поддерживается неизменной, то прямое падение напряжения на нем будет уменьшаться примерно на 2 мВ с увеличением температуры p-n перехода на один градус Цельсия [1]. Данная концепция иллюстрируется схемой (рис. 1.1), реагирующей на изменение температуры, и в которой используется источник тока.

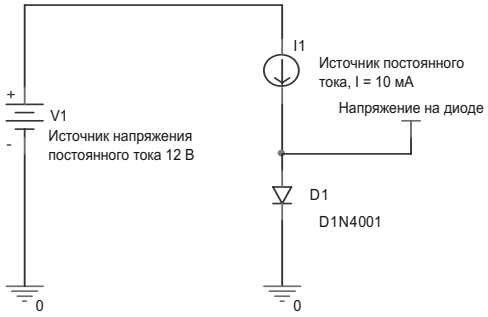


Рис. 1.1

Источник постоянного тока (I_1) поддерживает неизменным (на уровне 10 мА) величину тока, протекающего через полупроводниковый диод. Для наглядности диапазон температур изменяется от 15 до 40° С. Так как величина тока поддерживается источником тока постоянной, то при изменении температуры будет изменяться только падение напряжения на диоде. Результаты изменения напряжения приводятся на следующей зависимости (рис. 1.2).

Из приведенной зависимости видно, что падение напряжения на диоде линейно уменьшается с увеличением температуры. Для получения численных значений на графике были выбраны две точки. Они показывают, что при температуре 20° С напряжение на диоде составляет 703 мВ, а при температуре 30° С — 686 мВ. Это соответствует усредненному значению температурного коэффициента напряжения -1,7 мВ/° С, или, другими словами, уменьшению падения напряжения на диоде на 1,7 мВ при увеличении температуры p-n перехода диода на каждый градус. Другими словами, это означает наличие у полупроводникового прибора отрицательного температурного коэффициента.