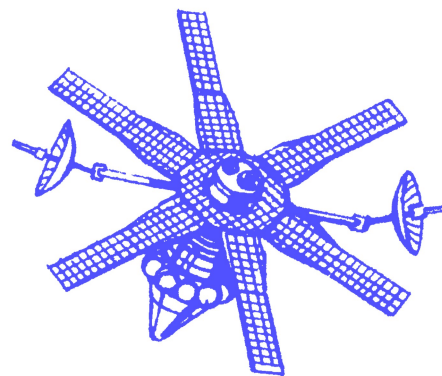


ЭЛЕКТРОНИКА шаг за шагом. ПРАКТИКУМ

Юрий Ревич

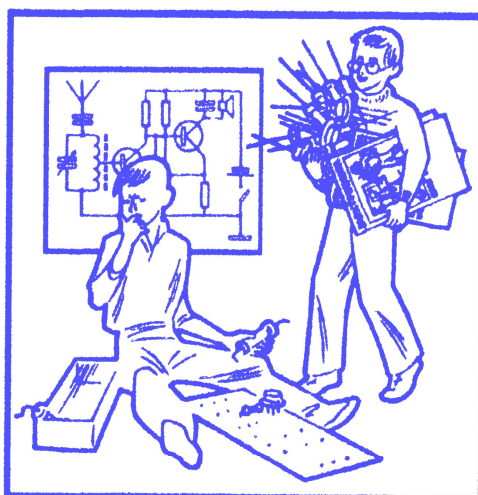
ЭЛЕКТРОНИКА шаг за шагом ПРАКТИКУМ



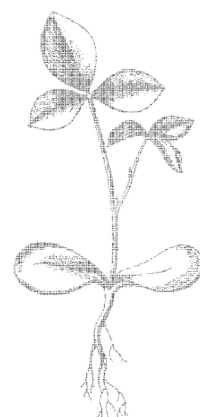


Ю. В. РЕВИЧ

ЭЛЕКТРОНИКА ШАГ ЗА ШАГОМ Практикум



Москва, 2021



Scan AAW

УДК 621.3
ББК 32.85
Р32

Р32 Ревич Ю. В.

Электроника шаг за шагом. Практикум. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 260 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-919-4

Книга «Электроника шаг за шагом. Практикум» представляет собой сборник практических примеров, дополняющих теоретические сведения о началах электроники, изложенные в книге Р. А. Свореня «Электроника шаг за шагом». Подобные примеры имеются и в оригинальных изданиях «Электроники шаг за шагом», но к настоящему времени они устарели. Примеры в данном издании ориентированы в основном на элементную базу поколения дискретных компонентов и КМОП-микросхем малой и средней степени интеграции. Затрагиваются также более современные приемы любительской электроники, основанные на микроконтроллерах и Arduino.

Разделы «Практикума» в основном следуют тематике глав в современном переиздании «Электроники шаг за шагом». Каждый раздел содержит краткие сведения теоретических основ обсуждаемой области. В необходимых случаях приводятся справочные данные некоторых компонентов и их аналогов для возможной замены. Приводится краткое описание необходимых инструментов, оборудования и радиолюбительских технологий.

Для учащихся, студентов, инженерных и научных работников, не имеющих специального образования в области радиоэлектроники, и широкого круга любителей электроники.

УДК 621.3
ББК 32.85

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 978-5-97060-919-4

© Ревич Ю. В., 2021

© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2021

От автора

Книга Р. А. Свореня «Электроника шаг за шагом» впервые была издана в конце 70-х годов прошлого столетия. С тех пор прошло достаточно времени, чтобы успело смениться два поколения электронных приборов. Сначала дискретные транзисторы и диоды сменились микросхемами малой степени интеграции. Затем довольно быстро базовой платформой для разработки электронных изделий стали большие и сверхбольшие интегральные схемы (БИС и СБИС) – микропроцессоры, микроконтроллеры и ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы). Кроме того, возникли целые классы электронных компонентов, ранее не существовавшие: интегральные стабилизаторы питания (в том числе экономичные импульсные), специализированные микросхемы для проводной и беспроводной связи, недорогие аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи.

Самая впечатляющая революция произошла в отображении информации: появились жидкокристаллические и светодиодные индикаторы и дисплеи, плоские телевизионные экраны. Традиционные лампочки накаливания были очень быстро вытеснены светодиодами сначала в области сигнализации, а в последние годы и в осветительных приборах, включая бытовые.

Одновременно с появлением плоских экранов телевидение все увереннее стало двигаться в сторону цифровизации: современный телевизор представляет собой в сущности весьма навороченный компьютер, с самыми продвинутыми сетевыми и мультимедийными функциями. Принципы передачи изображений существенно изменились. Ко времени написания этих строк подробно описанное Р. А. Своренем аналоговое телевидение в большинстве государств мира либо отключено полностью, либо планируется к отключению в ближайшее время (в том числе и в России).

Электроника быстро движется в сторону все большей миниатюризации – не только из-за появления микросхем с огромным количеством функций на одном кристалле, но и из-за уменьшения их собственных габаритов и снижения тепловыделения. Например, вполне функциональный компьютер уместается на плате 50×70 мм (Raspberry Pi). Уменьшились и сопутствующие компоненты: так, малые потери ключей на полевых транзисторах позволяют упаковать преобразователь питания мощностью в сотню с лишним ватт в объем порядка 50 см³.

Перечисление подобных примеров можно было бы продолжать до бесконечности, но нам сейчас важно подчеркнуть другой очень важный

момент: обучение электронике нельзя начинать сразу с микроконтроллеров и БИС. Дети в школах начинают обучаться письму не с компьютерных клавиатур, а по-прежнему с прописей, ручки и линованного листка бумаги, а спутниковая навигация не отменяет обучение моряков умению ориентироваться по компасу и звездам. Точно так же каждый электронщик обязан знать, как включать дискретный транзистор и светодиод, зачем нужны резисторы разных размеров и для чего применяются конденсаторы различных типов. Он должен уметь собрать генератор импульсов на транзисторах и микросхемах малой степени интеграции, построить простейший усилитель на дискретных компонентах, освоить обращение с операционными усилителями и логическими элементами. Только такая подготовка позволит ему в полной мере, с пониманием сути происходящего освоить современные микроэлектронные средства.

Исходя из таких соображений был разработан этот «Практикум» как дополнение к переизданию книги Р. А. Свореня. Примеры, включенные в текст оригинального издания книги, устарели и морально, и в части применяемых схемотехнических решений. Сейчас мало кому придет в голову самостоятельно проектировать средневолновый приемник с применением вручную намотанных катушек индуктивности и громоздких конденсаторов переменной емкости – на дворе век иных технических решений. К тому же коммерческое вещание на средних и длинных волнах, подобно аналоговому телевидению, давно уже сведено к минимуму. Зато широко распространились темы различных устройств управления и автоматики, дистанционного сбора данных, преобразования из аналогового в цифровой вид и обратно.

Поэтому в «Практикуме» собраны актуальные на сегодняшний день примеры с применением современных компонентов. Основная компонентная база для выполнения примеров из «Практикума» – дискретные компоненты (транзисторы, диоды, светодиоды, резисторы и конденсаторы), операционные усилители и компараторы общего назначения, а также логические микросхемы низкой и средней степени интеграции на основе КМОП-технологии (серия CD4000 и ее отечественные аналоги). Все дискретные компоненты подразумеваются с гибкими выводами (в том числе и транзисторы), микросхемы – в DIP-корпусе, что облегчает макетирование и отладку схем на беспаячной макетной плате. Отметим, однако, что такой подход ограничивает ассортимент доступных компонентов (отчего иногда приходится нарушать этот принцип), а также пределы миниатюризации любительских устройств.

Полевые транзисторы в прошлом веке считались еще довольно экзотическим компонентом со своими специфическими областями применения. К тому же их существовало большое количество разновидностей, сильно различающихся по свойствам, что запутывало любителя в при-

менении этих типов транзисторов. Картина изменилась в последнюю четверть века, когда промышленность начала выпускать полевые МОП-транзисторы (англ. MOSFET), предназначенные для использования в качестве мощных ключей. В современном пособии эту тему обойти невозможно, поэтому в «Практикуме» некоторые *Эксперименты* посвящены применениям MOSFET-транзисторов, хотя в книге Р. А. Свореня [1] о них нет ни слова.

Вы встретите в книге также примеры реализации устройств на основе Arduino. Обойти вниманием эту платформу, занимающую сейчас доминирующее место в среде любителей электроники, было бы ошибочным шагом. Тем более что огромное количество устройств реализуется с помощью микроконтроллеров проще, дешевле и быстрее, чем на аналоговых компонентах, доминировавших во времена издания книги Р. А. Свореня. Конечно, переход к Arduino требует некоторого набора специфических знаний и умений (вроде элементов программирования), но мы здесь предполагаем, что заинтересованный читатель уже приобрел их самостоятельно. И на интернет-ресурсах, и в виде бумажных изданий существует огромное количество пособий по основам платформы Arduino, так что в неведении читатель не останется. В архиве, который можно скачать по адресу <http://revich.lib.ru/AVR/praktikum.zip>, вы найдете тексты и примеры программ, обсуждаемых в примерах из этой книги.

Разделы «Практикума» в основном следуют тематике глав в современном переиздании «Электроники шаг за шагом» [1]. Ссылки на конкретные разделы в книге Р. А. Свореня могут выглядеть, например, как «глава 12; 10», – это означает 10-й раздел главы 12. Большинство тем «Практикума» содержит краткий обзор теоретических основ предложенной темы. Такой обзор может размещаться в начале главы или по ходу изложения, сопровождая изучение практических примеров определенной тематики. В каждом *Эксперименте*, содержащем один или несколько родственных практических примеров, в начале приводится список необходимых компонентов, материалов и оборудования. В необходимых случаях в нем приводятся аналоги для возможной замены компонентов. Подробные справочные данные компонентов приводятся в исключительных случаях – в документации, свободно доступной в интернете для любого компонента, все равно можно почерпнуть сведений больше, чем уместится в этой книге. Однако, чтобы не терять времени на обращение к такой документации каждый раз при сборке схемы, в *приложении 2* приведена разводка выводов некоторых компонентов, часто используемых в примерах «Практикума».

Необходимое пояснение по поводу термина «земля» – почему оно в этой книге всегда заключено в кавычки? Дело в том, что в электротехнике есть совершенно определенное понятие *земли* (без кавычек) – это общий для всех электростан-

ций мира нулевой потенциал, который привязан к поверхности земного шара. Общий провод электронных схем может с этим потенциалом соединяться (как, например, во многих устройствах бытовой техники), но в огромной части случаев этого не происходит и даже не рекомендуется. Поэтому называть общий провод электронных схем землей как минимум неграмотно (если вы заглянете в ГОСТы, то увидите, что у них даже разные графические обозначения). А как максимум такая путаница может в определенных ситуациях привести к существенным неприятностям, если кто-то перепутает эти термины. Правильнее было бы вообще отказаться от термина «земля» в приложении к электронным схемам, но термин прижился со времен ламповой радиотехники, где общий провод действительно рекомендовалось соединять с электротехническим заземлением. И даже повсеместно принятое английское обозначение GND (сокращение от *ground* – земля) следует этому заблуждению. Поэтому остается только заключать «землю» в кавычки, показывая таким образом, что мы с электриками имеем в виду разные понятия.

Перед изучением примеров из «Практикума» рекомендуется ознакомиться с разделом «Инструменты, материалы, технологии и оборудование», из которого вы узнаете, какие вещи приобрести вам придется обязательно, какие – желательно, а также о простейших методах сборки любительских электронных устройств в современных условиях. Обозначения и единицы измерения физических величин, а также некоторые принятые обозначения на электрических схемах приведены в *приложении 1*.

Замечания, предложения, указания на неточности и ошибки шлите через обратную связь на сайте издательства ДМК Пресс (dmkpress.com) или лично автору по электронному адресу revich@lib.ru.

Инструменты, материалы, технологии и оборудование

Для успешного создания надежных, эстетичных и удобных в обращении электронных устройств придется потрудиться. Заметим, что этому вопросу традиционно уделяется мало внимания в радиолобительских пособиях – дело обычно ограничивается описанием принципиальной схемы и макета, а все остальные операции (создание платы, постановка в корпус, выбор и подключение источников питания, внешнее оформление и т. д.) выносятся за скобки – молчаливо предполагается, что читатель этими вопросами уже владеет. Что совершенная неправда – все такие операции отнимают гораздо больше времени и труда, чем просто отладка схемы на макете. Поэтому стоит предусмотреть все мелочи заранее.

Подробности

Индустрия старается угодить нуждам радиолобителей, и в последние десятилетия появилось большое количество более-менее типовых платформ, ориентированных в основном на применение контроллеров Arduino в комплекте с различными датчиками и периферийными устройствами. В качестве примера можно привести отечественную платформу «Тройка», популяризируемую в известном интернет-магазине «Амперка», а также через сеть магазинов «Чип и Дип». В платформу входят различные переходные платы и модули, а также периферийные устройства с типовыми разъемами, что позволяет, не прикасаясь к паяльнику, собирать законченные устройства. Конечный результат представляет собой довольно громоздкую этажерку плат с торчащими во все стороны проводами. Конструкция обладает одним-единственным достоинством: быстротой сборки, не требующей каких-либо инструментов. Но, кроме ненадежности, излишне больших габаритов и стоимости, такое «изделие» обладает еще одним существенным недостатком: в нем затруднен доступ к отдельным компонентам при отладке. Кроме того, вы почти наверняка упретесь в отсутствие каких-то необходимых комплектующих, оформленных в нужном стандарте. Потому такой подход очень выгоден изготовителям, но совершенно неприемлем для изготовления сколько-нибудь удобных и эстетичных устройств.

Больше подробностей о радиолобительских технологиях, применяемых инструментах и материалах вы можете узнать из книги автора «Занимательная электроника» [4].

Инструменты

Разумеется, все обычные инструменты для работы по пластику и металлу вам также понадобятся – напильники и надфили, ножовки со смен-

Литература

1. *Сворень Р. А.* Электроника шаг за шагом / под ред. Ю. В. Ревича. М.: ДМК Пресс, 2020. 504 с.: ил.
2. Изготовление печатных плат ЛУТ'ом от А до Я. URL: <https://habr.com/ru/post/451314/>.
3. Опытное производство электроники за минимальный прайс. URL: <https://habr.com/ru/post/439606/>.
4. *Ревич Ю.* Занимательная электроника. 6-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2021.
5. *Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники. Т. 1 / пер. с англ. М.: Мир, 1983, 2001, 2003 (доступно в интернете в формате PDF и Djvu).
6. *Титце У., Шенк К.* Полупроводниковая схемотехника: справ. руководство. М.: Мир, 1982 (доступно в интернете в формате PDF и Djvu).

Оглавление

<i>От автора</i>	3
<i>Инструменты, материалы, технологии и оборудование</i>	7
Глава 1. Закон Ома и электрическое сопротивление	23
Основные понятия и расчетные формулы для электрических цепей	23
Подбор резисторов	26
Эксперимент 1. Исследование закона Ома в цепи с переменным резистором	27
Эксперимент 2. Измерение тока с помощью вольтметра	29
Эксперимент 3. Подключение светодиода и расчет гасящего резистора	33
Эксперимент 4. Последовательное и параллельное соединение резисторов	37
Эксперимент 5. Удельное электрическое сопротивление различных материалов.....	40
Глава 2. Переменный ток	44
Основные понятия и расчетные формулы для переменного тока	45
Эксперимент 6. Исследование значений напряжения на выходе выпрямителя	49
Глава 3. Свойства конденсатора	54
Понятие электрической емкости и разновидности конденсаторов ...	54
Основные расчетные формулы для цепей постоянного тока с конденсатором.....	58
Эксперимент 7. Заряд и разряд конденсатора через резистор	61
Эксперимент 8. Заряд и разряд конденсатора от источника постоянного тока	63
Эксперимент 9. Интегрирующая и дифференцирующая RC-цепи... Интегрирующая и дифференцирующая цепи.....	65 66
Эксперимент 10. Прохождение переменного тока через конденсаторы.....	72
Глава 4. Подробнее о транзисторах	75
Основные параметры транзисторов.....	75
Эксперимент 11. Ключевой режим биполярных транзисторов	78

Эксперимент 12. Ключевой режим полевых транзисторов	81
Эксперимент 13. Эмиттерный повторитель (схема с общим коллектором)	84
Глава 5.. Усилители	87
Эксперимент 14. Дифференциальный усилительный каскад	87
Звуковые усилители мощности (УМЗЧ)	90
Эксперимент 15. Звуковой транзисторный усилитель	91
Операционные усилители	96
Эксперимент 16. Неинвертирующий усилитель на ОУ	101
Эксперимент 17. Инвертирующий усилитель на ОУ и аналоговые операции	105
Эксперимент 18. Компараторы и простые устройства автоматического регулирования	112
Глава 6. Генераторы колебаний	117
Разновидности генераторов	117
Эксперимент 19. Электромеханический генератор	118
Эксперимент 20. Релаксационный генератор на операционном усилителе	120
Общие принципы работы релаксационных генераторов	123
Эксперимент 21. Генераторы на логических микросхемах	124
Эксперимент 22. Генератор и одновибратор на таймере 555	130
Гармонические генераторы	135
Эксперимент 23. Генератор синусоидальных колебаний на основе моста Вина	137
Эксперимент 24. Генератор синусоиды на микроконтроллере	142
Эксперимент 25. Кварцевые генераторы	151
Глава 7. Способы дистанционной передачи информации	155
Эксперимент 26. Датчик охраны периметра с лазерным лучом	155
Эксперимент 27. Передача кодированных сигналов по ИК-каналу	162
О способах передачи данных по радиоканалу	166
Эксперимент 28. Простой способ передачи данных по радио	169
Тестовые программы передачи и приема	173
Глава 8. Электроника и музыка	176
Эксперимент 29. Одноголосый 7-октавный ЭМИ на Arduino	177
Принцип генерации нот	178
Схема и программа для 7-октавного ЭМИ	184
Глава 9. Аналого-цифровое преобразование	189
Принципы аналогово-цифрового преобразования и проведения измерений	190

Эксперимент 30. АЦП параллельного действия.....	193
Эксперимент 31. Модель АЦП последовательного приближения..	196
Эксперимент 32. Интегрирующие АЦП.....	201
АЦП однократного интегрирования.....	202
АЦП двойного интегрирования.....	205
Глава 10. Счетчики и индикация.....	214
Принципы измерения временных характеристик с помощью счетчиков.....	214
Эксперимент 33. Индикация состояния счетчиков.....	216
Эксперимент 34. Измерение частоты.....	218
Эксперимент 35. Измерение периода и длительности импульсов.....	222
Измерение периода.....	222
Измерение длительности импульса.....	224
Эксперимент 36. Лабораторный генератор набора частот.....	226
Глава 11. Питание на любой вкус.....	230
Особенности и области применения различных типов источников питания.....	230
Эксперимент 37. Двухполярный источник питания с искусственной средней точкой.....	233
Эксперимент 38. Импульсный источник питания +5 В на МС34063.....	235
Источники тока и их применение.....	239
Эксперимент 39. Прецизионные источники тока на ОУ.....	240
Эксперимент 40. Источники тока для питания осветительных светодиодов.....	244
Источник тока на стабилизаторе LM317.....	245
Драйвер светодиодов на PT4115.....	248
Приложение 1. Принятые обозначения.....	251
Физические величины и их единицы измерения.....	251
Приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц.....	251
Некоторые буквенные обозначения в электрических схемах, принятые в этой книге.....	252
Приложение 2. Корпуса и разводка выводов некоторых компонентов.....	253
Транзисторы.....	253
Микросхемы.....	254
Литература.....	256

Книги издательства «ДМК ПРЕСС»
можно купить оптом и в розницу
в книготорговой компании «Галактика»
(представляет интересы издательств
«ДМК ПРЕСС», «СОЛОН ПРЕСС», «КТК Галактика»).

Адрес: г. Москва, пр. Андропова, 38;
Тел.: +7(499) 782-38-89, электронная почта: books@aliens-kniga.ru.

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью),
по которому должны быть высланы книги;
фамилию, имя и отчество получателя.

Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в интернет-магазине: www.a-planeta.ru.

Ревич Юрий Всеволодович

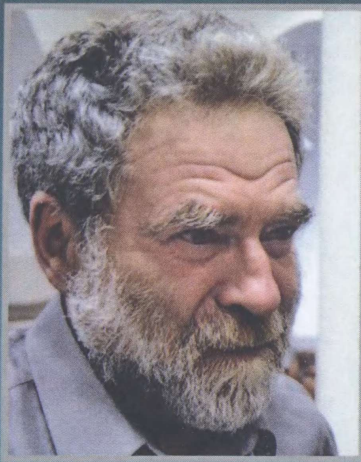
Электроника шаг за шагом

Главный редактор *Мовчан Д. А.*
Зам. главного редактора *Сенченкова Е. А.*
dmkpress@gmail.com

Корректор *Абросимова Л. А.*
Верстка *Луценко С. В.*
Обложка *Мовчан А. Г.*

Формат 70×100¹/₁₆.
Усл. печ. л. 21,13. Тираж 200 экз.

Веб-сайт издательства: www.dmkpress.com



Ревич Юрий Всеволодович – инженер-электронщик с многолетним стажем. Начиная с 2000-х – IT-обозреватель и журналист научно-популярной тематики. Круг интересов – проектирование микроэлектронных устройств от принципиальной схемы до пользовательского интерфейса, технологические инновации, история компьютеров. Имеет несколько сотен публикаций в журналах, газетах и сетевых изданиях. Автор десятка книг, среди которых «Занимательная электроника», «Азбука электроники», «Практическое программирование микроконтроллеров AVR» и др.

Данная книга представляет собой сборник практических примеров, дополняющих теоретические сведения о началах электроники, изложенных в бестселлере Рудольфа Свореня «Электроника шаг за шагом» (практическая часть оригинала к настоящему времени, увы, устарела). Примеры в этом издании ориентированы в основном на элементную базу поколения дискретных компонентов и КМОП-микросхем малой и средней степени интеграции. Затрагиваются также более современные приемы любительской электроники, основанные на микроконтроллерах и Arduino.

Разделы «Практикума» в основном следуют тематике глав в современном переиздании «Электроники шаг за шагом». Каждый раздел содержит краткие сведения теоретических основ обсуждаемой области. В необходимых случаях приводятся справочные данные некоторых компонентов и их аналогов для возможной замены. Приводится краткое описание необходимых инструментов, оборудования и радиолучительских технологий.

Для широкого круга любителей электроники.

Интернет-магазин:
www.dmkpress.com

Оптовая продажа:
КТК «Галактика»
books@aliants-kniga.ru

DMK
ПРЕСС
ИЗДАТЕЛЬСТВО
www.dmk.pф

ISBN 978-5-97060-919-4



9 785970 609194 >