

УДК 621.3
ББК 32.85
С25

С25 Сворень Р. А.

Электроника шаг за шагом / под ред. Ю. В. Ревича – М.: ДМК Пресс, 2020. – 504 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-729-9

Первое издание практической энциклопедии радиолюбителя «Электроника шаг за шагом» Р. А. Свореня было выпущено в 1979 году и сразу завоевало широкую популярность. В него вошли популярные рассказы об основах электротехники, электроники и радиотехники, о звукозаписи, телевидении, радиосвязи, электронной музыке, об автоматике и вычислительной технике.

Настоящая книга подготовлена на базе второго расширенного издания, вышедшего в 1986 году. Основная (учебная) часть оставлена почти без изменений; для привязки к современным реалиям и терминологии книга дополнена комментариями, а также «Практикумом» на основе современных компонентов.

Для 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 978-5-97060-729-9

© Сворень Р. А., 2020.
© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2020

Оглавление

<i>Рудольф Сворень – человек-легенда</i>	3
<i>Как книга «Электроника шаг за шагом» обрела новую жизнь</i>	12
<i>Предисловие от редактора</i>	14
ГЛАВА 1. Предисловие-путеводитель.....	18
ГЛАВА 2. Встреча с электричеством	28
ГЛАВА 3. Завод, где работают электроны.....	42
ГЛАВА 4. Конституция электрической цепи	66
Практикум. Изучаем закон Ома и свойства конденсатора	89
Эксперимент 1. Измерение тока с помощью вольтметра	89
Эксперимент 2. Исследование заряда и разряда конденсатора.....	91
ГЛАВА 5. Созданный движением.....	95
ГЛАВА 6. Сложный характер переменного тока	115
ГЛАВА 7. Сырье и продукция электроники	147
ГЛАВА 8. В переводе на электрический.....	171
ГЛАВА 9 Создание мощной копии	196
Практикум. Исследование вольт-амперной характеристики диодов и светодиодов.....	219
ГЛАВА 10. От усиления к усилителю	224
Практикум. Исследование усилительных свойств транзистора.....	258
Эксперимент 1. Ключевой режим работы транзистора	258
Эксперимент 2. Транзисторный усилитель синусоидального сигнала	260
ГЛАВА 11. Превращение в генератор.....	262
Практикум. Простые генераторы на микросхемах.....	285
Эксперимент 1. Генераторы прямоугольных импульсов.....	286
Эксперимент 2. Лабораторный генератор синусоидальных колебаний на операционном усилителе.....	289
ГЛАВА 12. Воспроизводится музыка	292
ГЛАВА 13. Передача и хранение информации	326
Радиосвязь	326
Аналоговое телевидение.....	340
Запись звуковой и видеоинформации.....	359
ГЛАВА 14. По стопам кремонских волшебников	375
Практикум. Модель терменвокса	389

ГЛАВА 15. Доверено автоматам	393
Практикум. Автоматические регуляторы	412
Эксперимент 1. Регулятор температуры (термостат)	413
Эксперимент 2. Автомат включения освещения.....	416
ГЛАВА 16. Компьютер – вычисляющий автомат	419
Практикум. Счетчики.....	453
Эксперимент 1. Счетчик с индикацией двоичного числа на светодиодах.....	454
Эксперимент 2. Счетчик с индикацией десятичного числа на светодиодах.....	456
Эксперимент 3. Счетчик с индикацией десятичного числа на семисегментном индикаторе	456
ГЛАВА 17. Питание на любой вкус	459
Практикум. Лабораторный источник питания	476
ГЛАВА 18. Фантастическая электроника	481
Список литературы	500

Как книга

«Электроника шаг за шагом»

обрела новую жизнь

История переиздания книги «Электроника шаг за шагом» началась летом 2015 года. Тогда, по выходным, я вёл занятия в кружке электроники для школьников. В список рекомендуемой литературы для кружковцев я всегда включал эту книгу Рудольфа Анатольевича Свореня. Однако с каждым годом получить бумажную версию книги становилось все сложнее – постепенно она исчезала из библиотек и стала редкостью даже у букинистов. К тому же ряд сведений в книге уже стал неактуальным, электронные схемы для практических работ тоже нуждались в адаптации к доступной элементной базе и интересам нынешних школьников, поэтому я решил узнать – можно ли переиздать ее, сохранив дух старой школы, но добавив новую информацию в свете современных достижений электроники? Нашел контакты автора книги, он к тому времени больше 15 лет жил в США, связался с ним. Оказалось, что, несмотря на преклонный возраст, Рудольф Анатольевич сохранил ясный ум и прекрасную память и по-прежнему писал книги.

Мою идею он поначалу встретил скептически, мол, книга устарела, нужно многое в ней изменить, а он сейчас занят другими делами. Однако со временем (а мы после этого общались с ним великое множество раз по телефону и электронной почте) мне всё же удалось убедить его начать подготовку к переизданию. Выяснились и новые интересные детали: оказалось, что недавно он написал новую книгу – «Электричество шаг за шагом» (не повторяет «Электронику...», посвящена основам электротехники), но она была выпущена небольшим тиражом благотворительным фондом, в продажу не поступала и практически не дошла до читателя. Безусловно, этот факт расстроил Рудольфа Анатольевича и служил дополнительным фактором, сдерживающим его работу по переизданию «Электроники...». Ведь никакой писатель не хочет писать, как говорят, в стол. Пообещав, что я договорюсь о переиздании уже двух книг, я начал действовать.

Началось общение с разными издателями, к сожалению, большей частью бесплодное. В это же время я создал страницу в Википедии, посвященную Р. А. Свореню. А вместе с Ильей Немихиным из Хакспейса Екатеринбурга мы опубликовали серию статей на Хабре (habr.com) с воспоминаниями Рудольфа Анатольевича о том, как он прошел путь от радиоинженера до писателя. Чтобы убедиться – действительно ли нужна современному читателю эта книга, мы объявили регистрацию желающих приобрести новое

издание книги «Электроника шаг за шагом». Таких желающих набралось около двух тысяч человек, неплохой тираж для технической книги по нынешним временам. Важным в этой инициативе оказалось то, что по следам этих публикаций к нам обратился владелец издательства «ДМК Пресс» Дмитрий Мовчан, который и предложил издать эти книги.

К сожалению, болезнь, а затем и смерть Рудольфа Анатольевича оставила процесс переиздания. Лишь благодаря поддержке наследников писателя удалось продолжить эту работу. В конце 2018 года вышло в свет второе издание книги «Электричество шаг за шагом», а в 2019 году началась работа над подготовкой к печати нового издания и самой известной книги Р. А. Свореня – «Электроника шаг за шагом». Предстоял большой объем работы как для художника – требовалось заново воссоздать все замечательные рисунки книги, так и для редактора. Напомню, что сам Рудольф Анатольевич был против репринтного издания книги и хотел ее переработать, исходя из современных реалий. Поэтому для редактирования книги я предложил пригласить писателя Юрия Всеволодовича Ревича. Он – автор нескольких популярных книг по электронике для начинающих, в том числе для детей, и я надеялся, что он сможет, сохранив стиль и оригинальную авторскую манеру подачи материала, актуализировать информацию и практические схемы книги.

И вот наконец моя мечта сбылась! Вы держите в руках новое издание книги «Электроника шаг за шагом». В своё время она приобщила к увлечению электроникой тысячи девчонок и мальчишек, дала им первые знания о том, как всё устроено в этом, поначалу казавшемся им загадочным мире электронных устройств. Надеюсь, и новое поколение юных электронщиков с помощью этой книги, при поддержке своих наставников в кружках и родителей дома, сделает свои первые шаги в занимательный мир электроники, достижения которой за последний век полностью изменили жизнь человечества. А затем уже уверенно, шаг за шагом пойдёт по большой дороге создания новых электронных устройств и удивительных технологий на их основе.

Хочу выразить благодарность всем тем, кто поддержал идею переиздания книги, кто писал искренние отзывы о книге, присылал свои советы и рекомендации для нового издания. И лично от себя хочу сказать большое спасибо Илье Немихину, Ольге Басовой, Артемию «Di Halt» Исламову (проект easyelectronics.ru), Владимиру Чуднову (главный редактор журнала «Радио»), Александру Бениаминову (внук Р. А. Свореня), Юрию Ревичу, Дмитрию Мовчану. Именно благодаря вам эта замечательная книга обрела новую жизнь.

Руслан Тихонов
svorenbook@gmail.com
Май 2020 г.

Предисловие от редактора

Книга Рудольфа Анатольевича Свореня «Электроника шаг за шагом», первый вариант которой вышел в далеком 1963 году, в свое время произвела настоящую революцию в радиолюбительском деле. В ней впервые подробно и на доступном уровне были изложены основные принципы работы электронной аппаратуры практически всех существовавших в то время разновидностей – от элементарных радиоприемников до ЭВМ и даже радиолокаторов. Краткую историю развития этой книги автор излагает сам в конце последней главы.

В чем ценность этой книги для сегодняшнего читателя? Современные любители электроники лихо пишут программы для контроллеров на языках C/C++ и Python и знают, как создать мини-сервер с выходом в интернет, а любимое когда-то развлечение специалистов по искусственному интеллекту – создание движущегося робота-тележки, обходящего препятствия, – ныне предмет для занятий в детских кружках по робототехнике. Но при этом они совершенно теряются, когда нужно посчитать сопротивление ограничительного резистора для светодиода, и не умеют правильно подключить транзистор в простейшем ключевом режиме. Книга Р. А. Свореня дает необходимую всем электронщикам базовую информацию по широкому кругу вопросов: от основ электротехники до принципов работы усилителей и генераторов сигналов. Пусть вам никогда не придется самостоятельно конструировать, например, радиоустройства, но понимание принципов работы радиосвязи и транзисторных усилителей звука значительно облегчит обращение с готовыми модулями для этой цели.

Для характеристики своей целевой аудитории Рудольф Анатольевич употребляет термин «радиолюбительство». Интересно, что такое название существует только в русском языке, прямых аналогов в английском и других иностранных языках не находится. Этот термин возник в нашей стране еще в 1930-е годы, так как в то время никакой другой электронной аппаратуры, доступной для повторения на любительском уровне, кроме радиоприемников, не существовало. Радиолюбительство в буквальном смысле термина получило тогда широкое распространение, так как промышленность явно отставала от потребностей населения. Со временем прилавки наполнялись бытовой техникой, и радиолюбительство последовательно прошло ряд этапов: сначала центр внимания переключился на качественный звук, телевидение, затем и на различную домашнюю автоматику. Часть этих этапов, соответствующая времени выхода книги, получила отражение в ее тексте.

Надо отметить, что при всем этом собственно «любители радио», то есть те, кто занимается любительской радиосвязью и радиоспортом, за все

эти годы никуда не исчезли. Это признанные во всем мире разновидности хобби, по которым проводятся соревнования, выходят специализированные журналы и создаются тематические сайты. Однако эта сторона «радиолюбительства» по понятным причинам практически не нашла своего отражения в книге Р. А. Свореня – на начальном уровне эти увлечения оказываются недоступны, тут требуется более основательная теоретическая и практическая подготовка.

Настоящее издание подготовлено на базе второго издания полной версии книги, вышедшего в 1986 году; в последних главах добавлены некоторые дополнения из издания 2001 года. Разумеется, с тех пор сама по себе электроника принципиально изменилась, и далеко не все, рассказанное автором в тех обстоятельствах, актуально и сегодня. Однако при переиздании книги мы не стали устранять многие явные архаизмы изложения, лишь сопроводив их примечаниями для привязки к современным реалиям и современной терминологии.

Подробные описания многих разделов радиолюбительства, представляющие сегодня лишь исторический интерес, пришлось кардинально сократить или удалить вовсе. Если будет позволено такое сравнение, то многим было бы интересно узнать, как люди каменного века добывали огонь трением, но едва ли один человек из многих тысяч соберется повторить этот опыт. Звукозапись, например, успела со времен 1960-х годов трижды сменить носители (а если считать с 1950-х, то и четырежды), стала полностью цифровой и в конце концов избавилась от носителей вовсе, став чисто информационным феноменом. Фильмы пока еще можно приобрести на DVD-дисках, но дело быстро идет к тому, что киноиндустрия повторит судьбу звукозаписи, портал YouTube – тому свидетельство. Принципиально изменились технологии телевидения; широко распространилась не существовавшая во времена первых изданий книги домашняя видеозапись, причем также успевшая пройти ряд этапов, от отдельных и довольно дорогих аналоговых видеокамер до миниатюрных цифровых, встроенных в мобильные телефоны. Современная автоматика и связь немыслимы без микроконтроллеров и микропроцессоров, перевернувших лицо не только компьютерной индустрии, но и практически всех областей техники, включая бытовую.

Потому при подготовке данного издания почти в неприкосновенности сохранена большая половина книги (вплоть до главы 12 включительно), посвященная общим принципам функционирования электронных устройств, где исправлены лишь ошибки и неточности автора, а также заменены или снабжены комментариями и дополнениями явные архаизмы. Пришлось полностью отказаться от практической части в главах, посвященных радиовещанию, телевидению и звукозаписи. Не потому даже, что конструированием подобных устройств любители в настоящее время практически не занимаются – гораздо существеннее то, что изменились

сами принципы работы таких устройств. Тем не менее теоретические основы этих разделов электроники по-прежнему могут быть интересны (на них основываются и современные подходы). Эти разделы сведены в одну главу (глава 13). По той же причине сохранены главы об электронных музыкальных инструментах, автоматических устройствах и даже компьютерах, которые в 1986 году еще только выходили из пеленок. Сохранена также во многом актуальная глава об источниках питания (глава 17); она в конце дополнена отдельным разделом о современных интегральных стабилизаторах.

Книга в оригинале сопровождалась большим количеством практических примеров различных устройств, а также необходимыми справочными данными по компонентам радиоаппаратуры, называвшимся тогда еще попросту радиодетальями. Этот раздел тогда был очень важен, потому что справочники по компонентам в то время были жутким дефицитом и далеко не всем доступны. Подобные разделы книги удалены полностью, а практические примеры созданы заново на современном материале.

Вместо сложного деления текста на теоретическую (в оригинале соответствующие подразделы помечены буквой Т с номером), справочную (помечены буквой С), а также практические примеры, зачастую никак не связанные с окружающим их текстом (помечены буквой К), оставлены лишь нумерация подразделов и выделение их первой фразы. Некоторые необходимые по контексту справочные данные включены в основной текст. При ссылках из других мест на нужный подраздел текста, что составляет одно из несомненных достоинств книги Р. А. Свореня, приводится номер главы и подраздела (например, «гл. 1; 7»). Заново подготовленные практические примеры, чтобы не путать их с авторским текстом, выделены в особые разделы в конце глав, под названием *Практикум*. Рисунки теперь имеют свою нумерацию в каждой главе, включающую номер главы; при ссылке на рисунок приводится его номер и далее номер нужной картинке на этом рисунке, как и было у автора (например, «рис. 3.10; 4»).

Кроме того, на авторских иллюстрациях в книге изменена полярность питания на более привычную современному читателю: питание на схему подается от положительного полюса источника, а «общий провод» подключается к отрицательному. В соответствии с этим изменением на рисунках изменена полярность подключения компонентов (батарей, диодов, электролитических конденсаторов и пр.), а также *p-n-p*-транзисторы заменены на *n-p-n*.

Отдельно отметим, что упомянутые автором в главе 1 графопостроители (плоттеры) с пером как инструмент для рисования чертежей под управлением компьютера давно исчезли из обихода (в настоящее время они употребляются в основном для раскройки различных материалов). К сожалению, введенный тогда стандарт упрощенных графических обозначений почему-то таким и остался. Это касается не только отечественных ГОСТов,

но и зарубежных стандартов. Заново введенные практические примеры также следуют введенному автором книги правилу – в них употребляются более выразительные обозначения, пусть и не всегда точно соответствующие официальному стандарту.

К данному изданию приложен небольшой список литературы, в которой читатель может найти дополнительные сведения.

Ревич Ю. В.

Т – ТЕКСТ (ТЕОРИЯ)
Р – РИСУНКИ
К – КОНСТРУКЦИИ
С – СПРАВОЧНЫЙ
МАТЕРИАЛ



ГЛАВА 1

Предисловие- путеводитель

1. Эта книга для радиолюбителей, для тех, кто сам конструирует приемники, усилители и другую электронную аппаратуру¹. Есть немало загадочных, необъяснимых явлений, немало тайн, до которых еще не успела добраться наука. В их числе и радиолубительство. Как, например, объяснить такое: на магазинных полках полно прекрасных всеволновых приемников, а начинающий радиолубитель, путаясь в проводах, обжигаясь о жало паяльника, собирает свой первый шедевр – приемник, который в лучшем случае будет принимать две-три местные станции. Забыты друзья, на самом интересном месте заброшен детектив, мобилизованы последние финансовые ресурсы... И все это ради той радостной минуты, когда из громкоговорителя зашуршит едва слышное: «...е-е-е-если б знали вы-ы-ы, как мне доро-ги-и-и-и...»

Пройдут годы, появятся термоядерные электростанции и личные мини-вертолеты, космонавты высадятся на Марсе, будут раскрыты загадки человеческой памяти и секреты зарождения жизни. К тому времени, возможно, будет проведен и строгий научный анализ притягательных сил радиолубительства... Пока же по этому поводу можно лишь высказывать предположения. К радиолубительскому конструированию наверняка влечет естественная потребность творить, создавать, строить. Она в самой человеческой природе, запрограммирована в нас, закреплена тысячелетиями. Так же, как не может человек жить без воды и пищи, без воздуха, вот так же не может он без интересного дела. А радиолубительство – конечно же, дело интересное, творческое. Наука на грани искусства.

Наверняка привлекает радиолубительство и своей полезностью, тем, что позволяет легко приобщиться к самой современной технике. Можете вы построить дома настоящий синхрофазотрон? А космический корабль? Атомный реактор? Самолет? Не можете... А вот настоящий радиоприемник можно изготовить прямо на краешке кухонного стола.

К радиолубительству тянется не только тот, кто хочет связать свое будущее с электроникой. Сегодня электронная техника применяется повсюду,

¹ Уточнения к определению термина «радиолубительство» см. в «Предисловии от редактора» (здесь и далее примечания редактора).

с ней постоянно встречаются летчик и врач, биохимик и экономист, металлург и музыкант. И каждый, кто занимается практической электроникой, как говорится, в порядке любительства, прекрасно понимает, что это приятное дело окажется полезным для человека любой профессии. И вот еще что: радиолюбительство не только учит, но в сильной мере и воспитывает. Оно, например, делает человека более сообразительным, находчивым, изобретательным. Более собранным, четким, аккуратным – несколько раз пострадаешь из-за собственной небрежности, и, смотришь, появляется привычка тщательно проверять сделанное, работать быстро, но не спеша. Потеряешь час на поиски какой-нибудь детали, и совсем уже по-иному звучат слова «порядок на рабочем столе» или «организация рабочего места».

Собирая электронные схемы, налаживая их, выискивая какую-нибудь неисправность, вы учитесь логически мыслить, рассуждать, учитесь использовать имеющиеся знания, добывать новые. Учитесь учиться.

Вспоминается, как известный советский радиофизик академик Александр Львович Минц, принимая специалистов на работу, всегда отдавал предпочтение радиолюбителям. И не только за конкретные знания, но главным образом за умение мыслить, работать творчески, изобретать.

2. В книге имеются описания некоторых схем и конструкций для самостоятельного изготовления. В большинстве случаев это схемы отдельных узлов и блоков, из которых можно собрать совсем уже огромное множество простых и сложных схем, подобно тому как дети из кубиков собирают самые разнообразные «здания»².

Каждый схемный блок, как правило, связывает с внешним миром всего несколько проводов (на схемах они чаще всего заканчиваются стрелками). Это, в частности, провод «Вход» («Вх»), который подключается к предыдущему блоку, провод «Выход» («Вых»), к которому подключается последующий блок, провод «Плюс» («+»), к которому подключается «плюс» источника питания (или провод с таким же обозначением «+» другого блока), и провод «Общий» («О» или \perp), к которому подключаются «минус» источника питания и все другие провода с обозначением «Общий».

Вскоре вы научитесь и сами компоновать сложные схемы из простых типовых блоков, используя для этого интересные элементы не только из этой книги, но и из других источников, из различных любительских и промышленных электронных схем.

Здесь, пожалуй, уместно сделать важное предупреждение. Так уж случилось, что система условных изображений и сокращенных буквенных обозначений радиодеталей менялась несколько раз. В результате в радиолюбительской литературе разных лет одни и те же детали изображают-

² Описания законченных конструкций, основанных на устаревшей элементной базе, из книги удалены. Частично этот пробел позволяет восполнить книга [7]. Несколько практических примеров, привязанных к тематике соответствующих разделов, читатель может найти в конце глав 4, 9–11, а также 14–17 этой книги.

ся и обозначаются по-разному. Правда, изображения, как правило, очень похожи, но все же различия есть и конденсатор с резистором не спутаешь. Последние изменения были предприняты в эпоху появления машинной графики, когда чертежи и схемы выполнялись на специальном графическом устройстве – графопостроителе (плоттере). Графопостроителю проще делать чертеж линиями одинаковой толщины, и в связи с этим была введена система условных обозначений, где и соединительные провода, и обмотки катушек, и все элементы других деталей изображаются сравнительно тонкими одинаковыми линиями. Для рисунков этой книги выбраны условные изображения деталей, несколько отличающиеся от стандарта, но зато более броские и выразительные, в основном за счет использования линий разной толщины (см. рис. 1 и 2, где приведены некоторые условные обозначения на схемах).

Примечание редактора. В переводной литературе, а также в многочисленных интернет-источниках современный читатель может встретить схемы, выполненные по американско-японским стандартам (европейские более соответствуют отечественным). В них отличается начертание многих элементов – резисторов, электролитических конденсаторов, логических микросхем и пр., причем отметим, что отечественные более логичны и проще выполняются графически (см., например, рис. 1.1; 1). Но это не должно смущать читателя: американские схемы вполне понятны тому, кто разобрался в отечественных.

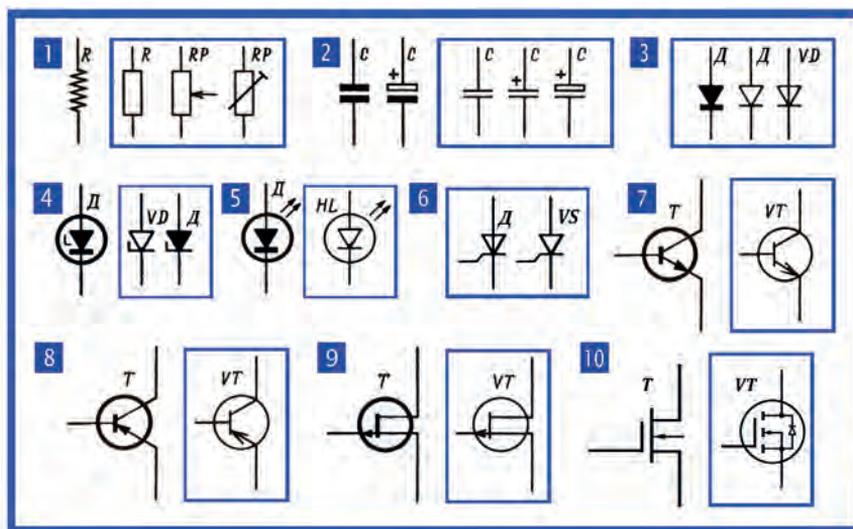


Рис. 1.1. Некоторые условные обозначения на схемах (вне рамки – реже употребляющиеся): 1 – резисторы (слева вне рамки – американско-японское обозначение); 2 – конденсаторы (слева – неполярный, справа – полярный электролитический); 3 – диод; 4 – стабилитрон; 5 – светодиод; 6 – тиристор; 7 – транзистор *n-p-n*; 8 – транзистор *p-n-p*; 9 – полевой транзистор с *p-n*-переходом; 10 – полевой транзистор с изолированным затвором (MOSFET)

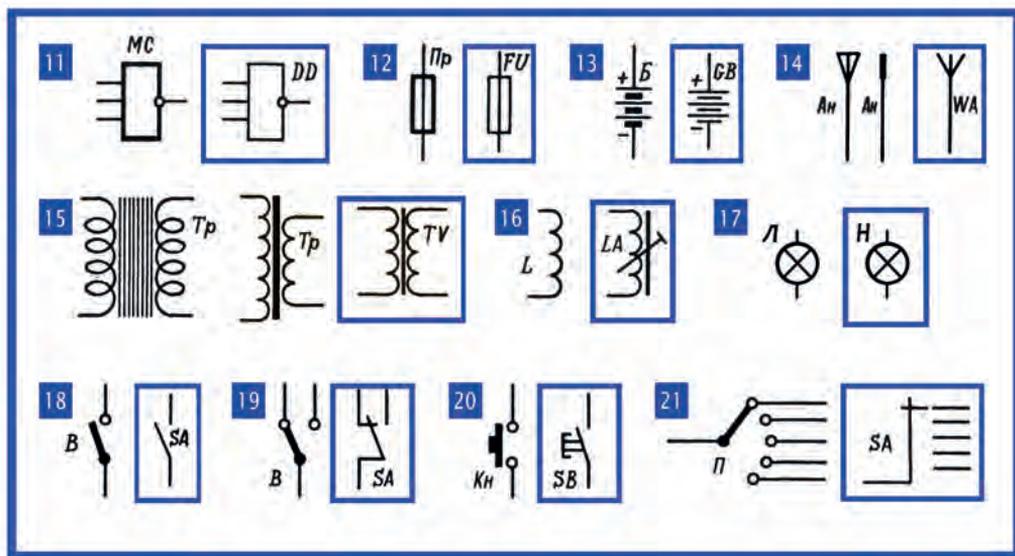


Рис. 1.2. Некоторые условные обозначения на схемах (продолжение):

- 11 – цифровая интегральная микросхема (логический элемент);
- 12 – предохранитель; 13 – химический источник тока, 14 – антенна;
- 15 – трансформатор; 16 – катушка индуктивности (дрессель; в рамке – дроссель с подстройкой индуктивности); 17 – лампа накаливания; 18 – выключатель;
- 19 – переключатель двухпозиционный; 20 – кнопка на замыкание;
- 21 – переключатель многопозиционный

3. В книге есть некоторое количество справочных материалов, в основном теоретического характера. Некоторые справочные данные, такие, скажем, как расчетные формулы, можно найти на рисунках, относящихся к основному тексту, и в самом этом тексте, о котором хочется сказать особо.

4. Книга позволяет сочетать практическую работу с изучением основ электроники, продвигаться вперед от простого к сложному. Есть два способа научить человека управлять автомобилем. Первый способ такой. Будущий водитель сразу садится за руль, и ему дают конкретную инструкцию: «Хочешь ехать вперед – передвинь этот рычаг на себя и влево, хочешь ехать назад – передвинь его на себя и вправо. Прежде чем переставлять рычаг, нажми вот эту левую квадратную педаль, а когда переставишь рычаг, отпусти ее. Хочешь ехать быстрее – надавливай на эту продолговатую педаль, хочешь притормозить – дави на эту правую квадратную педаль. Вот и все. Поехали...»

А вот другой способ. Человеку, который хочет водить машину, нужно сначала рассказать, хотя бы в самых общих чертах, о том, как этот автомобиль устроен. Как работает двигатель, как вращение передается колесам,

что происходит при переключении скоростей, при нажатии на педаль сцепления или газа, рассказать о всех основных процессах, которые происходят во время управления машиной. И только после такого рассказа будущему водителю показывают, какие ручки и педали управляют теми или иными агрегатами, объясняют, в каких случаях и как ими пользоваться.

Эти два варианта освоения автомобиля очень похожи на два типичных пути, которыми радиолюбители идут к конструированию электронных приборов. Первый начинается с того, что человек берет в руки паяльник и по готовому описанию со схемой пытается сразу же собрать приемник или усилитель, не вдаваясь в такие мелочи, как принцип действия тех или иных приборов и назначение тех или иных элементов схемы. А вот другой путь – изучение основ электротехники и электроники, а затем уже со знанием дела практическая работа, конструирование электронных установок и аппаратов.

Если разобраться строго, то правильнее и разумнее идти вторым путем – от теории к практике, от понимания к действию. Но знакомство с основами электроники – дело не простое и не быстрое, тем более что предварительно нужно укрепить фундамент, вспомнить основы электротехники. А человеку не терпится, хочется побыстрее заняться делом – сверлить, паять, налаживать, побыстрее сделать что-нибудь такое, что само поет, играет, мигает лампочками. Хочется побыстрее нажать на педали и двинуться в путь.

С учетом всех этих «хочется» и «нужно» книга построена так, что допускает некий, если можно так сказать, гибридный путь в радиолюбительство. Из всего множества практических схем и конструкций выделено несколько, рассчитанных на самого что ни на есть начинающего радиолюбителя, на того, кто в части радиоэлектроники находится на нулевой отметке³. Описания этих схем и конструкций сделаны достаточно подробно, в описания введены сведения о работе схемы, о назначении некоторых ее деталей. Одним словом, все рассчитано на то, чтобы эти конструкции можно было сделать еще до знакомства с теоретическими разделами книги или параллельно с изучением основ электроники, в какой-то степени сочетая таким образом то, что нужно, и то, что хочется.

5. Основной текст книги посвящен основам электроники и некоторым конкретным ее направлениям. Одно только есть предостережение: не хотелось бы, чтобы первые успехи в сборке простейших схем передвинули на второй план знакомство с основами электротехники и электроники, создали иллюзию, что с этим делом можно подождать или даже вообще обойтись без него. Если вы не хотите понапрасну терять время на разгадывание известного или бросать работу, отчаявшись найти неисправность в схеме,

³ К числу таких «нулевых конструкций» относятся практические примеры из глав 4, 9, 10 и частично 11, но и остальные примеры потребуют лишь минимальной подготовки.

когда обнаружить ее – дело одной минуты, если вы не хотите повторять чужие ошибки и слепо копировать посредственную схему, когда есть десятки способов улучшить ее, одним словом, если вы не хотите блуждать в потемках по путаным дорогам страны Электронии, вашим девизом должно стать «знай и умей».

Можно прекрасно собрать велосипед, не зная теоретической механики, и успешно пилить дрова, не зная теории резания древесины. Но успехи в области практической электроники в принципе невозможны без определенного теоретического фундамента. Теория – это сконцентрированный опыт миллионов, собранные, приведенные в систему правильные решения, отброшенные в сторону бесчисленные ошибки. Теория – это молниеносные мысленные эксперименты вместо долгих и дорогостоящих опытов «в металле», быстрый выбор правильного ответа вместо бесконечного слепого перебора и гадания. Теория – это кратчайший путь к нужному практическому результату. Прекрасно сказал великий итальянский физик Энрико Ферми: «Нет ничего практичнее хорошей теории».

В этой книге весь теоретический материал разбит на 18 глав. Первые десять посвящены основам электротехники, радиотехники, электроники, это фундамент, необходимый для того, чтобы построить прочное здание знаний и умений.

В каждой главе есть некоторое количество сравнительно небольших разделов, они имеют сквозную нумерацию по всей книге. Конечно же, основной текст книги, тот, что назван «теоретическим», не очень-то похож на теорию в истинном высоком смысле этого слова, теорию, насыщенную математическими формулами, охватывающую весь комплекс вопросов, связанных с данной темой. Основной текст книги – это очень краткий и по возможности предельно упрощенный пересказ некоторых элементов теории; теорией его можно называть только условно.

6. Рисунки, поясняющие основной текст, имеют свою собственную нумерацию в каждой главе. На рисунке может быть несколько фрагментов с отдельными номерами, на них и дается ссылка в тексте. Так, например, ссылка рис. 5.1; 2 означает «фрагмент номер 2 на рис. 1 в главе 5» (в данном примере это иллюстрация к понятию северного и южного полюсов магнита).

7. Книга написана на нескольких разных языках, освоить их – значит сделать самый важный шаг в электронике. Внимательно наблюдая за самим собой, нетрудно убедиться, что мы мыслим словами. Стоит вам подумать: «Я иду в школу», – и где-то в глубине звучат неслышимые слова «я и-ду в шко-лу». Английский мальчик о том же самом подумает так: «Ай гоу ту тзе скул», немецкий мальчик: «Их гее ин ди шуле».

Каждый человек думает словами, думает на том языке, на котором говорит. Или скажем иначе: человек говорит на том языке, на котором мыслит.

И не случайно преподаватели иностранных языков считают, что вы только тогда по-настоящему изучили язык, когда начали мыслить на нем так же, как и на своем родном.

Но вот шахматист, автоматически сделав несколько первых ходов, задумывается над сложной позицией. Неужели же и он в это время думает словами, слышит неслышимые: «Если я на-па-ду ко-нем на его сло-на, то он пойдет на по-ле вз-че-ты-ре и, заб-рав мо-ю пеш-ку, по-па-дет под у-дар мо-е-го фер-зя, и тог-да...»?

Нет, конечно же, шахматист не думает звучащими словами разговорного языка. Он думает совсем на другом языке, на специфическом языке шахмат, оперирует в своем сознании готовыми образами фигур, позиций, ходов, комбинаций. Точно так же, как механик, всматриваясь в сложную машину, мыслит на своем языке, «слова» которого – образы конкретных деталей, их типичные взаимодействия, скажем, зацепление шестерен или червячной передачи. И так же, как математик, читая свои математические тексты, тоже обходится без разговорного языка, мыслит математическими символами и действиями, а композитор – мелодиями, аккордами, ритмами.

Нас окружает огромный мир, мир вещей и явлений. И в нашей вычислительной машине, в нашем мозгу, по мере того как мы познаем этот мир, строится его модель, которая состоит из записанных в память слов, картин, элементов их взаимосвязи. (Пока никто не знает, как вводятся в мозг или извлекаются эти записи, в каком виде они существуют: то ли это комбинации возбужденных нервных клеток, то ли комбинации молекул в клетке или атомов в молекуле, то ли комбинации электрических или химических сигналов.)

Самое универсальное средство для описания мира, для построения его модели – наш разговорный язык. Но для некоторых фрагментов этой модели, таких как устройство машин, шахматы, музыка, электронная аппаратура, химические соединения, существуют и специальные языки, более удобные, более оперативные и экономные. Здесь может быть уместно такое сравнение: универсальный автомобиль для перевозки грузов – это грузовик с откидными бортами, на нем можно перевозить все. Но для перевозки песка удобнее самосвал, для перевозки людей – автобус, для перевозки молока – автоцистерна. Мы пользуемся универсальным языком звучащих слов или осваиваем новые языки в зависимости от того, какую задачу нужно решить, что нужно описать – простую житейскую ситуацию «я иду в школу», устройство машины или состав вещества. В первом случае удобен разговорный язык, во втором – язык чертежа, в третьем – язык химических формул.

Чтобы заниматься электроникой, обязательно нужно освоить несколько новых языков. Прежде всего это язык схем, на котором осуществляет-

ся описание электрических цепей электронных приборов. Затем – язык графиков, с его помощью удобнее всего рассказать о процессах, которые происходят в электронном приборе. Еще язык спектров, который лучше всего описывает важнейшие преобразования электрического сигнала, этого главного героя электронных схем. Очень удобен и язык математических формул, он, в частности, помогает экономно и наглядно представить важнейшие законы электрических цепей.

Чтобы знать электронику, нужно прежде всего знать эти специальные языки, пусть не в очень большом объеме, но знать очень хорошо, свободно мыслить на них, мыслить на языке схем, графиков, простейших математических формул. Освоение этих языков – одна из главных наших целей, к ней мы будем постепенно, шаг за шагом продвигаться, с каждым шагом чувствуя себя уверенней и свободней в сложном мире электроники.

8. Многое в книге излагается упрощенно, а кое-что очень упрощенно и, может быть, даже слишком упрощенно. Один известный астрофизик, рассказывая о своей работе, заметил, что ему, наверное, никогда не удалось бы успешно развивать свою науку, если бы он постоянно представлял себе чудовищные космические расстояния или гигантские интервалы времени, которыми измеряются космические события. Работая, он думал совсем иными масштабами, оперировал образами, крайне упрощенными, но зато удобными, такими, которые легко себе представить. Ну, скажем, Солнце он мысленно представлял себе как некий шар с диаметром 10 см. А иногда и нашу Галактику считал однородным телом, приравнивал ее к своего рода плоскому солнцу, хотя в Галактике десятки миллиардов звезд, похожих на наше Солнце, а само оно в тысячи миллиардов раз меньше Галактики. В нашем рассказе об электронике и электронных приборах такой прием – упрощение истинной картины, изменение масштабов, использование образов искаженных, но более удобных для обдумывания – будет встречаться очень часто. Иногда это делается для того, чтобы читателю можно было проще обдумывать сложные процессы, а иногда для того, чтобы автору было легче их объяснить. Мы будем, например, представлять себе атомные ядра и даже сами атомы маленькими шариками, такими горошинами или маковыми зернышками, в то время как все это сложнейшие системы, собранные из множества разнообразных частей, размеры которых невообразимо малы.

Мы будем часто пользоваться аналогиями, сравнивая, например, электромагнитные процессы с механическими (переменный ток с качелями или заряд конденсатора с наполнением ведра), в то время как сходство между ними чисто внешнее, физическая сущность этих похожих процессов совершенно разная.

Примечание редактора. Неточное утверждение. Приведенные автором примеры (скажем, сравнение переменного тока с качелями), как и многие другие подобные аналогии, как раз показывают, что физическая сущность у разных по видимости процессов одинаковая. Причем именно колебательные процессы есть самая яркая иллюстрация этого положения: гармонические колебания маятника и процессы в колебательном контуре; звонок механического будильника и релаксационные генераторы на различных элементах (см. главу 11); самопроизвольные пульсации жидкости в трубах и самовозбуждение усилителей – все эти явления с точки зрения физика являются одними и теми же процессами и описываются одними и теми же уравнениями. Автор прав в том, что они относятся к разным областям физики, но глубинная сущность у них одна и та же – как правило, это процессы преобразования энергии в различной форме.

Мы будем, наконец, пользоваться привычными житейскими словами, чтобы рассказать о сложных электрических явлениях, будем, например, употреблять такие выражения, как «электроны быстро побежали», или «магнитное поле старается помешать нарастанию тока», или даже «атомное ядро не хочет отпускать электроны». Подобные выражения в тексте встречаются настолько часто, что пришлось даже отказаться от спасительных кавычек, иначе страницы текста просто пестрили бы кавычками.

Все это делается только для того, чтобы можно было думать о вещах сложных и непривычных в терминах знакомых и понятных, чтобы облегчить познание нового, пользуясь самым, пожалуй, сильным средством – сравнением, сопоставлением, связыванием с тем, что уже известно. И еще для того, чтобы по возможности не выпускать на эти страницы огромное количество слов и символов, необходимых для достаточно аккуратного, достаточно строгого описания сути дела. Встречаясь в тексте с грубыми механическими моделями электронных схем, с искаженными масштабами, с сильно упрощенными процессами или структурами, с разного рода «прыжками» электронов или «стараниями» магнитных полей, нужно помнить, что все это лишь военная хитрость, необходимая для штурма крепостей непонятного. И что упрощенное описание какой-либо физической сложности – это не более чем упрощенное описание.

9. В книге последовательность изложения выбрана такой, чтобы рассказ шел от простого к сложному, от известного к неизвестному. Но вполне может оказаться, что читателю понадобится нарушить эту последовательность. Хотя бы потому, что какие-то разделы ему уже известны или о каком-нибудь приборе, о какой-нибудь схеме хочется узнать побыстрее, «вне очереди».

Краткое, правильное даже сказать сверхкраткое содержание всех разделов текста приводится в начале каждого раздела (жирным шрифтом, перед основным текстом). Эти краткие резюме могут быть полезны и в том случае, когда нужно повторить пройденное, чтобы двинуться дальше.

10. Книга должна помочь вам сделать первые шаги в электронику и создать фундамент знаний для дальнейшей самостоятельной работы. Выйти к вершинам любительского конструирования электронных приборов, конечно, не просто. И дело это не быстрое. Однако же и путь от простейшего генератора прямоугольных импульсов к сложным электронным схемам, к усилителям высококачественного звучания, электрогитарах, электронным роботам – путь этот вполне преодолим, его прошли уже многие тысячи людей. Хочется верить, что эта книжка поможет вам сделать первые шаги на пути в электронику, поможет запастись фундаментальными знаниями и приобрести практическую хватку. А это есть самые важные слагаемые дальнейшего успешного продвижения вперед.

ром слое может быть уже до восьми орбит, в третьем – до восемнадцати. На всех наших рисунках электронная оболочка показана в виде одного круга или эллипса, по которому вращаются все электроны. Это, конечно, грубое упрощение, одно из тех, которым было посвящено предупреждение в гл. 1; 8. Особое значение имеет наружный слой электронных орбит, потому что именно с помощью своих внешних электронов атомы соединяются друг с другом, образуя молекулы. С внешними электронными оболочками атома нам еще предстоит интересные встречи, а сейчас несколько слов о другой важной особенности атомных конструкций.

9. Положительный ион и отрицательный ион – атомы, у которых нарушено электрическое равновесие. Обнаружив в электронах и протонах мельчайшие порции электричества, мы можем теперь объяснить, как появляются электрические свойства у более крупных «предметов» – у атомов, у молекул. И у натертых палочек из пластмассы и стекла. В нормальном своем состоянии любой атом электрически нейтрален – число протонов в его ядре и число электронов на орбитах одинаково. А при этом и суммарный положительный заряд атома, и его суммарный отрицательный заряд как бы нейтрализуют друг друга, и за пределами атома никакие его электрические свойства вообще не ощущаются. Вещество, состоящее из таких нейтральных атомов, само тоже нейтрально, электрического заряда у него нет (рис. 2.4).

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ:
В одном случае некоторые нейтральные атомы вещества теряют электроны и превращаются в положительные ионы (стекло), в другом – в вещество „вталкиваются“ лишние электроны (пластмасса)



СТЕКЛО ПЛАСТМАССА

СУММАРНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД	НЕЙТРАЛЬНЫЕ АТОМЫ			ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ИОНЫ			ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ИОНЫ		
									
СУММАРНЫЙ ЗАРЯД	+1	+6	+12	+1	+6	+12	+1	+8	+12
ЭЛЕКТРОНОВ	-1	-6	-12	0	-4	-8	-2	-10	-15
АТОМА	0	0	0	+1	+2	+4	-1	-2	-3

Рис. 2.4. Атомы и ионы

Если же каким-то способом удалить с атомной орбиты хотя бы один электрон, то общий заряд электронов будет уже меньше, чем общий заряд протонов. И такой атом в целом будет обладать положительным зарядом. А значит, будет обладать положительным зарядом и молекула, куда входит этот наэлектризованный атом, и в итоге вещество, в которое входит наэлектризованная молекула. У натертой стеклянной палочки положительный заряд появляется именно потому, что при натирании мы, грубо говоря, выдираем электроны из многих атомов, расположенных в поверхностном слое стекла.

Можно при натирании каким-то способом втолкнуть в атом лишний электрон, у некоторых веществ ему найдется местечко на орбите. У такого атома электронов окажется больше, чем протонов в ядре, а значит, появится отрицательный заряд. В итоге отрицательный заряд будет у молекулы, включившей в себя этот атом, и у вещества, куда входит наэлектризованная молекула. Именно так можно объяснить появление отрицательного электрического заряда у натертой пластмассовой палочки.

В заключение остается назвать имена, которые присваивают атомам в зависимости от их электрического состояния.

Нормальный атом, такой, у которого число протонов и число электронов одинаково и который поэтому во внешнем мире никак не проявляет своих электрических свойств, называют нейтральным атомом. Атом с недостающими электронами (или, другими словами, с избытком протонов) называют положительным ионом – в целом такой атом ведет себя как частица, имеющая чистый положительный заряд. Атом с избытком электронов ведет себя как частица с чистым отрицательным зарядом, и такой атом называют отрицательным ионом.

10. Электрические силы могли бы работать в машинах. С давних пор люди стремятся умножить силу своих мускулов, выполнять работу бóльшую, чем могли бы по своим природным способностям. Стремятся они к этому не просто так, не ради спортивного интереса, а для того, чтобы улучшить свои жизненные условия, чтобы жить лучше, чем предназначено дикой природой. В разные времена человек приспособил себе в помощники домашних животных, энергию падающей воды, ветра, расширяющегося пара, взрывающихся бензиновых паров. И конечно же, не мог он оставить в бездействии такую прекрасную работающую силу, как электричество.

Уже простейшие опыты с натиранием стекла и пластмассы говорят о том, что электричество может работать, ну, скажем, перемещать какие-то грузы. Или приводить в движение машины, подобно тому, например, как гравитационные силы вращают жернова водяной мельницы. В принципе, работоспособность электричества огромна, значительно больше, чем работоспособность гравитации. Если стеклянную и пластмассовую палочки размером с карандаш расположить на расстоянии метра, то под действием гравитационных сил они будут притягиваться одна к другой, как и любые две массы. Но сила этого притяжения будет в миллиарды миллиардов раз меньше, чем сила самого чахлого комарика. А вот если наэлектризовать эти палочки-карандаши, уменьшить на один процент число электронов в стекле и увеличить на один процент число электронов в пластмассе – обратите внимание: всего на один процент! – то палочки будут притягиваться с такой силой, что смогут сдвинуть с места железнодорожный состав из миллиарда миллиардов груженых вагонов!

Вы хотите спросить, почему же в наших опытах электрических сил едва хватало на то, чтобы подтянуть вверх легкие бумажки? Только потому, что натиранием мы сумели нарушить электрическое равновесие лишь у очень небольшого числа атомов.

И все же в использовании электрической энергии техника не пошла по пути машин с большими сильно наэлектризованными деталями. В современных электрических машинах и установках всех типов работают детали, наэлектризованные самой природой, – мельчайшие частицы вещества, с которыми мы встретились на нашей экскурсии в мир атомов и молекул. А конкретно в современных электрических машинах всех типов работают электроны, положительные и отрицательные ионы. Главным образом – электроны.