

ГЛАВА 1. Десять важных предупреждений

Взяв в руки новую книгу, мы довольно часто не читаем предисловие или, в лучшем случае, быстро полистав его, начинаем всё же с основных разделов. Очень хочется, чтобы читатель отошёл от этой технологии — наше предисловие не случайно названо первой главой, оно само есть важный раздел книги, который должен облегчить знакомство со всеми последующими главами. Если, конечно, вы решитесь на это знакомство.

T-1. Очень может быть, что читателю эта книга совершенно не нужна. Вряд ли найдутся в наше время люди, которые не сталкивались с электричеством, — куда ни помотришь, оно помогает нам, работает на нас. Электричество — это яркий свет в домах и тысячи разных станков на заводах, это телевизор и телефон, компьютер и электропоезд метрополитена. Если где-нибудь на далёкой планете тамошние астрономы наблюдают за нами в свои телескопы, то они видят, как на тёмной половине Земли появляются, а через какое-то время медленно гаснут загадочные световые пятна. Это наши города миллионами включённых электрических ламп встречают ночь и постепенно засыпают.

А ведь ещё каких-то сто лет назад электрическая лампочка считалась сложным физическим прибором, чудом науки и техники.

Несколько поколений исследователей и инженеров, приручивших электричество, сделали так, что пользоваться электроприборами легко и просто, — для этого не нужны какие-либо специальные знания. Тронул пластмассовый рычажок выключателя — и в комнате стало светло, включил телевизор — и по зелёному полю забегали футболисты в синих и оранжевых майках, нажал кнопку в лифте — и он послушно повёз тебя на нужный этаж. А что там при этом происходит, как работает электричество, что именно оно делает в телевизоре, в лифте или в электрической лампочке, — об этом можно и не задумываться. Наше дело простое: знаешь, какую кнопку нужно нажать, и достаточно.

Действительно, нельзя же объять необъятное. У нас на службе огромное многообразие аппаратов, приборов, машин, и совсем не обязатель-

но знать, как всё это устроено и как работает. Зашёл в самолёт, сел в кресло, пристегнул ремень — и лети спокойно, не спрашивай у стюардессы, чем отличается реактивный двигатель от поршневого или как называются страны, над которыми полетит самолёт. Научился нажимать на педали и управляться с рулем автомобиля — садись и двигай, нечего выяснять, как устроены дисковые тормоза или бензонасос. Даже на компьютере можно прекрасно работать, абсолютно не понимая, как именно он превращает лёгкое нажатие на клавиши в сложные преобразования рисунков, чисел или слов.

Эта книга сравнительно подробно рассказывает об электричестве, о том, как люди с ним познакомились, как изучили повадки электричества, заставили его работать на себя. Будет кое-что рассказано и о том, как устроены электрические приборы и машины, где и как добывают электрическую энергию, как передают её в наши дома и на заводы. А чтобы вы могли воспринимать всё это с пониманием сути дела, мы начнём с рассказов о физической природе электричества и его ближайшего родственника — магнетизма.

Вполне вероятно, что читатель не проявляет интереса ко всем этим подробностям и ему, возможно, не стоит тратить на них время. Так что подумайте, может быть, лучше из приличия полистать книжку и решительно отложить её в сторону, честно признавшись: это не для меня.

Т-2. В то же время есть немало людей, которым не обойтись без знакомства с электричеством, и книга поможет сделать в этом деле первые шаги. Тот, кто выберет электрические процессы и машины своей профессией, непременно должен будет изучить электричество подробно, до мелочей, и сделать это можно только с помощью серьёзных учебников. Книги, подобные этой, могут оказаться полезным предисловием к учебнику — они начинаются с «нулевой отметки», то есть предполагают, что вы вообще ничего не знаете про предмет. Поэтому книга вводит вас в существо дела постепенно, рассказывает обо всём хоть не очень строго, но зато простым языком, приучает к терминам, готовит к будущему детальному изучению электричества.

Т-3. Многие получают от знакомства с электричеством реальную пользу, хотя напрямую с ним не связаны. Книжка может оказаться полезной и для тех, кто не выбрал электричество основной профессией, с ним в своей работе наверняка столкнётся шофёр, сварщик, строитель, врач, геолог, космонавт, металлург, словом, люди самых разных профессий. Им книжка может дать некоторый объём основных знаний, позволяющих потом по мере надобности вникать в детали.

Т-4. Кое-что об электричестве полезно знать даже тем, кто терпеть не может точные науки и совершенно не интересуется техникой. Вполне вероятно, что желание познакомиться с электричеством появится и у того, кому это знакомство вроде бы и не нужно. Психологи

экспериментально определили, что на шкале наших жизненных ценностей на очень высоком уровне находятся знания. Доказано, что потребность в знаниях связана с так называемыми безусловными рефлексами, которые передаются по наследству с древнейших времен. Знать окружающий мир — потребность столь же сильная, как жажда или чувство голода. Она наверняка появилась в далёком-далёком прошлом, когда сама жизнь человека зависела от его знаний — от того, как он умеет охотиться, добывать пищу, уходить от опасностей.

Вот почему мы чувствуем какой-то дискомфорт, какое-то явное неудобство, если не имеем хотя бы самых общих представлений об окружающем мире, об основах наук и технологий, об основах жизни общества. Человеку любой профессии, с любым уровнем образования нужна, как принято говорить, картина мира, пусть не очень подробная, но без серьёзных пробелов. Не случайно во многих американских университетах даже гуманитариям — будущим юристам, историкам, литераторам — в небольших дозах преподают точные науки. Для них даже специальные учебники есть, например «Физика для поэтов».

Книжка, которую вы сейчас держите в руках, позволит, как уже говорилось, почерпнуть наиболее важные сведения об электричестве и, хочется верить, поможет даже неподготовленному читателю ликвидировать «электрическое белое пятно» в его картине мира.

Т-5. Предлагаемая читателю книга, так сказать, многоэтажна, в ней, в частности, есть тематические этажи, разные по уровню сложности. Если вы решились на знакомство с электричеством и готовы дви-



Человек с давних времён интересуется нашим миром, пытается понять, как в нём всё устроено. Много тысяч лет главной движущей силой этого интереса было применение новых знаний для

улучшения своей трудной жизни — изобретения тех времен, добывание огня, колесо, капканы, парусные лодки. Электричеством стали серьёзно заниматься лет 500 назад, а основные откры-

тия и их применение начались ещё через 300 лет. Сегодня мы знаем важнейшую роль электричества в природе и технике, без этих знаний не может быть создана никакая картина мира.

ВК
1

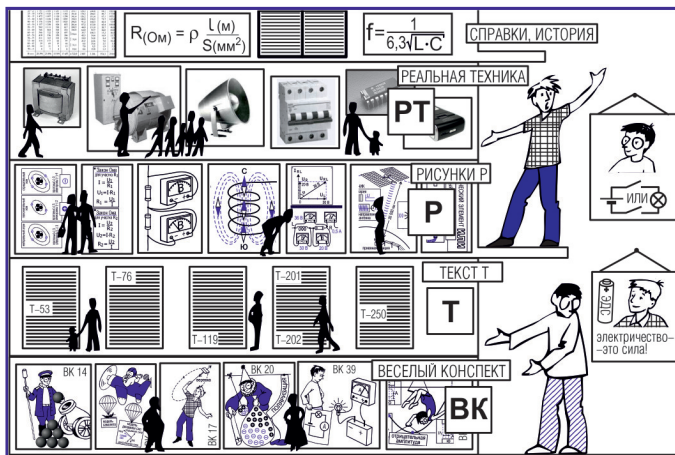
гаться дальше по страницам этой книги, то вам прежде всего полезно будет узнать, как она устроена.

Нужно сразу сказать — электричество для человека область непривычная: с механикой или с тепловыми процессами люди знакомы много тысячелетий, а электричеством всерьёз стали заниматься всего лет триста назад. Ко всему ещё основные электрические процессы скрыты от нас, чтобы судить о них, нужно понимать, что происходит в невидимых электрических мирах. Можно прекрасно собрать велосипед, не зная теории механизмов и машин, можно ловко пилить дрова, не зная теории резания, но вряд ли поймёшь, как работает какая-нибудь электрическая машина, если не знаешь основ электротехники, если не построил для себя хоть какой-то теоретический фундамент. Значительная часть книги как раз и посвящена построению такого фундамента.

Есть люди, которые к слову «теория» относятся с пренебрежением. А ведь это несправедливо. Теория — это сконцентрированный опыт миллионов исследователей, собранные, приведённые в систему правильные решения, отброшенные в сторону бесчётные 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 об этом великий итальянский физик Энрико Ферми: «Нет ничего практичнее хорошей теории».

В этой книге теоретический материал имеется во всех её главах. В каждой главе есть некоторое количество сравнительно небольших разделов, они имеют сквозную нумерацию по всей книге и обозначаются буквой «Т» — от слова «теория». Конечно же, эти разделы не очень похожи на теорию в истинном высоком смысле этого слова, теорию, насыщенную математикой, охватывающую весь комплекс вопросов,

ВК
2



Эту книгу в каком-то смысле можно назвать многоэтажной, в ней, по сути дела, три рассказа об электричестве, связанных и в то же время самостоятельных. Самый доступный, видимо, это «Весёлый конспект» (ВК), который вы сейчас смотрите. Следующий этаж — основной книжный текст, в котором 21 глава и 240 разделов Т, чаще всего объёмом 0,5—3 страницы каждый. Их дополняют рисунки Р со сравнительно подробными, как говорят редакторы, с расширенными подрисуночными подписями.

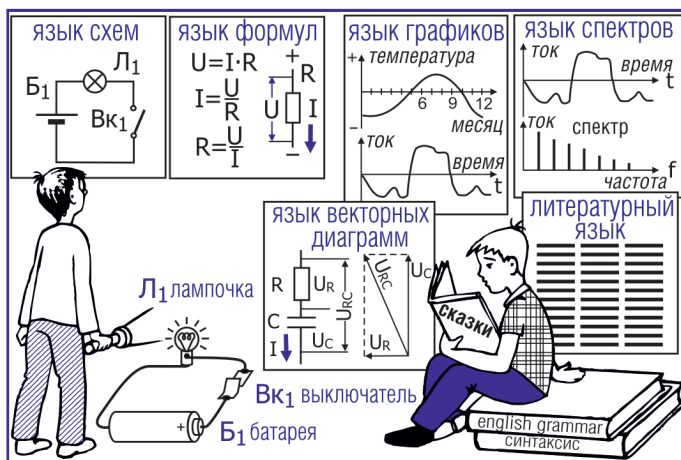
связанных с темой. Основной текст книги — это очень краткий и по возможности предельно упрощённый пересказ некоторых элементов теории, так что теорией его можно называть только условно. Более того, если слово «теория» пугает вас, то можно считать, что обозначение «Т» идёт от слова «текст».

В разделы Т входят рисунки, они обозначаются буквой «Р» и имеют свою собственную нумерацию, тоже сквозную, от начала книги до конца. На рисунке может быть несколько фрагментов с отдельными номерами, на них даётся ссылка в тексте подробной подписи к рисунку, а иногда и в основном тексте книги. Так, например, ссылка Р-18.2 означает «Второй рисунок-фрагмент на рисунке Р-18».

На рисунках помещены и формулы — как основные, так и расчётные, вспомогательные. Ссылка на формулу выглядит точно так же, как и ссылка на фрагмент рисунка. В формуле обозначение в скобках возле той или иной величины говорит о том, в каких единицах она в данном случае должна быть выражена. Заметьте: чтобы не пугать читателя, из основного текста почти все формулы перенесены на рисунки, так что текст можно читать спокойно, не прерываясь, а к формулам обращаться, когда захочется или когда это понадобится.

Чтобы помочь читателю при разборе рисунков, обозначенных буквой «Р», кроме обычных подробных подписей к ним на самих рисунках, в своего рода голубых рамках произвольной формы помещены пояснения к некоторым особо важным процессам и деталям. Рисунки Р подобраны и скомпонованы так, что они как бы образуют самостоятельную сюжетную линию книги, это своего рода сжатый конспект основного текста — просматривая эти рисунки, можно освежить в памяти уже прочитанные разделы. К сожалению, рисунки не удалось расположить так, чтобы они всегда находились в той части текста, который должны пояснять. Но, пользуясь ссылками и подробным оглавлением (в конце

Книга написана на нескольких разных языках: на привычном русском языке, на языке схем, на языке графиков, на языке простейших математических формул и других. Каждый из них по-своему рассказывает о важных и не всегда простых электрических процессах и объектах. Языки эти развиваются уже много лет и достигли высокого совершенства, в книге, разумеется, представлены простейшие их фрагменты. Понять хотя бы в общих чертах эти языки — значит сделать самый важный шаг в знакомстве с электричеством.



ВК
3

ВК
4

Одна из самых известных профессий электричества — оно создаёт свет, освещает наши жилища и улицы городов. Рядовая электрическая лампочка накаливания вот уже более ста лет выпускается и всё ещё продаётся, несмотря на низкий коэффициент полезного действия (к.п.д., иногда пишут КПД). Лампочка, видимо, прельщает своей простотой и надёжностью, но бывает, что в ней происходит короткое замыкание цепи обрывками сгоревшей нити.

ВК
5

Так бывает нечасто, но всё же бывает: в вашей квартире неожиданно гаснет свет. Конечно, на этот случай надо бы иметь фонарик, получающий электричество от батарей, и самое главное, нужно знать, где его искать. Но и без него человек, знакомый с тем, как электричество вводится в квартиру, сумеет быстро определить, в какой комнате произошло короткое замыкание, заставившее сработать автоматы-выключатели.

ВК
6

Пользоваться электрическими приборами и аппаратами широкого потребления (светильники, кофеварки, приёмники, телевизоры и др.) совсем просто, и для этого, вроде бы, не нужны какие-то знания о самом предмете — об электричестве. Однако многие люди, даже если их профессия напрямую не связана с электричеством, стараются понять, что представляет собой это скрытое от нас чудо природы и как можно наладить с ним хотя бы самые простые деловые отношения.

книги) разделов текста Т и рисунков Р, можно быстро находить рисунки Р, помогающие чтению основного текста, или, наоборот, просматривая эти рисунки, находить связанные с ними разделы текста.

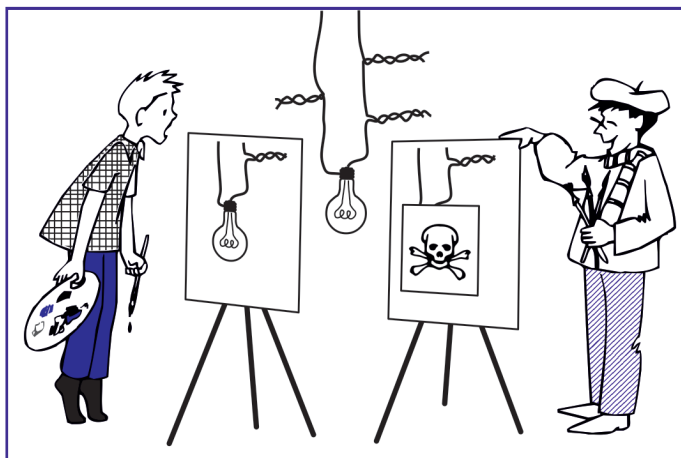
Работая над книгой, автор, как правило, прежде всего думает о том, кто её будет читать, строит, как принято говорить, модель читателя. В данном случае получилось несколько разных моделей, и автор пытался приспособить книгу для каждой из них. Тот, кто будет пользоваться книгой как учебником для самообразования, найдёт в основном тексте (разделы Т) последовательное изложение основ электротехники, по структуре оно близко к серьёзным учебникам. Этим разделам помогают основные рисунки (Р) со своими довольно подробными подписями, они делают каждый рисунок Р в значительной мере независимым рассказом, с которым можно познакомиться отдельно.

А ещё есть в книге около трёхсот особых рисунков (их можно назвать юмористическими) тоже с подробными подписями, все вместе они образуют своего рода весёлый конспект основного текста. Этот распределённый по всей книге самостоятельный раздел так и называется: «Весёлый конспект», он сокращённо обозначается ВК, и его рисунки также имеют свою нумерацию. Рисунки ВК помогают понять некоторые непростые электрические и магнитные явления, работу электрических машин, они будут полезны прежде всего тем, кому страшновато браться за сложное дело. Герои «Весёлого конспекта», как могут, стараются показать, что страшного ничего нет, что во всем можно разобраться и что не нужно бояться науки об электричестве.

И действительно — не нужно бояться.

Т-6. Читатель может в различной последовательности знакомиться с разделами книги. Лучшее всего, конечно, действовать старым способом — начать книгу с начала и, последовательно продвигаясь, пройти её до конца. Но может случиться, что читатель не дотерпит до окончания

Электричество при определённых условиях может травмировать живой организм, изменить ход биохимических процессов, нарушить нормальную работу отдельных органов. Беспечное отношение к электричеству, незнание правил безопасности при работе с ним может привести к трагическим последствиям. Достаточно вспомнить, что ток всего в 50 миллиампер, попавший в область сердца, сбивает ритм сигналов, определяющих его работу, и через несколько секунд может привести к полной остановке сердца.



ВК
7

«основного курса» и начнёт знакомиться с материалами, которые как-то связаны с реальными электрическими машинами и аппаратами. Или, предполагая трудности с освоением теории, начнёт с более лёгких иллюстративных материалов, например с рисунков Р. Или начнёт с того, что пройдёт с начала до конца весь «Весёлый конспект» (ВК) с его достаточно подробными поясняющими текстами. Все эти варианты вполне допустимы, как, впрочем, и любые другие, — был бы результат.

Т-7. Книга написана на нескольких разных языках, освоить их — значит сделать самый важный шаг в изучении электричества. Беседуя с друзьями, читая книгу или слушая радио, мы пользуемся обычным нашим разговорным языком и даже не думаем, какую огромную роль сыграл он в человеческой истории, как объединил людей для совместного труда, для борьбы со стихиями. Более того, придумав разговорный язык как средство связи, средство общения, человек стал мыслить словами, создавать на их основе общие понятия, оперировать ими, размышлять — стал человеком разумным. Если бы не язык, то мы с вами сейчас, скорее всего, прыгали бы с ветки на ветку где-нибудь в джунглях Экваториальной Африки.

Внимательно наблюдая за самим собой, нетрудно убедиться, что мы в основном мыслим словами. Стоит вам подумать: «Я иду в школу», — и где-то в глубине слышатся слова: «Я и-ду в шко-лу». Английский мальчик о том же самом подумает так: «Ай гоу ту тээ скул»; немецкий мальчик: «Их гее ин ди шуле»; вьетнамский: «Той ди хап».

Каждый человек думает словами, думает на том языке, на котором говорит. И не случайно преподаватели иностранных языков считают, что вы только тогда по-настоящему изучили язык, когда начали мыслить на нём так же, как и на своём родном. А физиологи установили, что человек решает житейские задачи, просто недоступные животным,

ВК
8



Мы вначале признаём электричество как нечто реальное, когда оно начинает действовать, например, нагревает нить лампочки и заставляет её светиться или приводит в движение электропоезда. В этих примерах начинают действовать особые электрические силы, которые, как мы увидим, есть в каждом атоме, но часто себя не показывают. Следующий рисунок ВК напомнит о школьных опытах, заставивших действовать эти электрические силы.

и решает их только потому, что у него, у человека, есть разговорный язык, на котором он мыслит.

Итак, человек мыслит словами. Но вот шахматист, автоматически сделав несколько первых ходов, задумывается над сложной позицией. Неужели же и он в это время слышит слова: «Если я на-па-ду ко-нём на его сло-на, то он пой-дёт на по-ле цэ-че-ты-ре и, заб-рав мо-ю пеш-ку, по-па-дёт под у-дар мое-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 своём сознании готовыми образами фигур, без всяких слов двигает в уме эти фигуры с одной клетки на другую, думает на языке, где вместо слов — фигуры, позиции, ходы, комбинации. Точно так же, как механик, всматриваясь в сложную машину, мыслит на своём языке, «слова» которого — это образы конкретных деталей, их типичные взаимодействия, скажем, зацепление шестерён или сжатие пружины. И математик, читая свои математические тексты, тоже в основном обходится без разговорного языка, мыслит математическими символами и действиями, а композитор — мелодиями, аккордами, ритмами.

Нас окружает огромный мир, мир вещей и явлений. И наша вычислительная машина, наш мозг, по мере того как мы познаём этот мир, строит его модель, его упрощённое описание. Оно состоит из записанных в памяти слов, картин, элементов их взаимосвязи.

Самое универсальное средство для описания мира, для построения его модели — наш разговорный язык. На нём можно и о жизни поговорить, и историю вспомнить, и о достижениях медицины рассказать, а если постараться, то и математическую формулу пояснить. Но для некоторых областей, таких как устройство машин, шахматы, музыка,

Каждый человек сталкивался с электричеством, пользовался им или даже изучал профессионально. Однако далеко не каждый возьмётся рассказать, что это такое, электричество. А вместе с тем это одна из важнейших важностей нашего мира, столь же важная, скажем, как гравитация. К ней мы привыкли, считаем её естественной и понятной, но на вопросы «что это такое?» и «откуда оно взялось?» можем лишь ответить: так устроен мир, в котором мы живём. Так же пока приходится отвечать на вопросы о природе электрических сил.



ВК
9

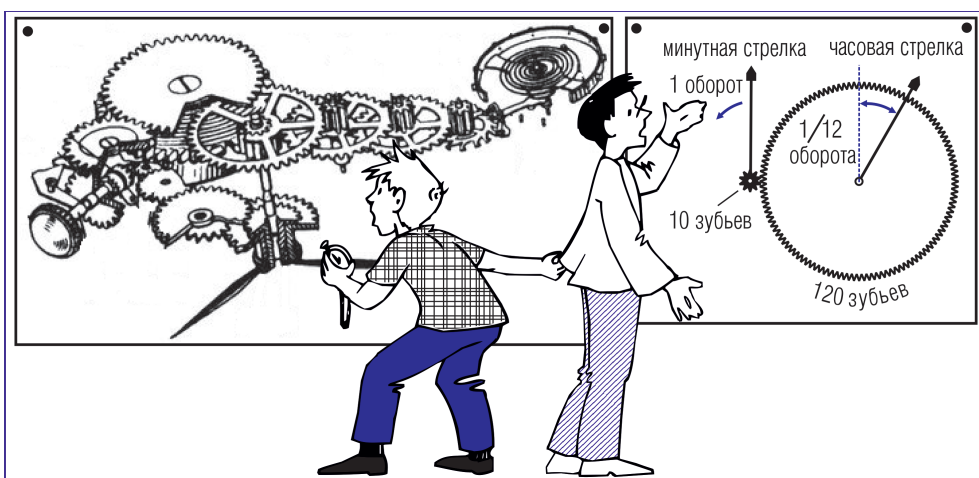
электрические аппараты, химические соединения, существуют специальные языки, более удобные, более экономные и оперативные.

Здесь может быть уместно такое сравнение: универсальный автомобиль для перевозки грузов — это грузовик с откидными бортами, на нём можно перевозить всё. 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 познакомиться с работающим электричеством, обязательно нужно освоить несколько новых языков. Чаще всего мы будем пользоваться языком электрических схем, которые с помощью условных обозначений могут детально описать самые разные электрические аппараты — от карманного фонарика до большой вычислительной машины. Освоив этот язык, вы будете легко и свободно манипулировать в уме электрическими схемами, не только понимая, но просто-таки чувствуя, что происходит в реальной электрической цепи.

Мы освоим также великолепный язык графиков, с его помощью удобнее всего рассказать о процессах, которые происходят в электрической системе. Очень удобен и язык простейших математических формул, он, в частности, помогает экономно и наглядно представить

ВК
10



Многое в этой книге излагается упрощённо, очень упрощённо и, возможно, даже слишком упрощённо. Делается это для того, чтобы читателю легче было получить пред-

ставление о существе дела, об основных объектах, процессах и законах невидимого электрического мира. Иногда за этим первым упрощённым описанием следуют в основ-

ном тексте или на рисунках некоторые важные и более сложные подробности. Но, конечно, полную информацию нужно искать в серьёзных учебниках.

законы электрических цепей, показывает, от чего зависит та или иная характеристика и каким образом. Есть ещё язык спектров и язык векторных диаграмм, эти языки тоже окажут нам серьёзную помощь.

Вы сможете спокойно, без страха встретиться с любой незнакомой электрической техникой, если будете знать названные выше специальные языки, пусть не в очень большом объёме, но знать хорошо, мыслить на них. Освоение этих языков — задача не очень сложная, мы будем постепенно, шаг за шагом, решать её, всякий раз чувствуя себя увереннее и свободнее в электрическом мире.

Т-8. Многое в книге излагается упрощённо, а кое-что очень упрощённо и, может быть, даже слишком упрощённо. Известный астрофизик Иосиф Самойлович Шкловский, рассказывая о своей работе, заметил, что ему, наверное, никогда не удалось бы успешно развивать свою науку, если бы он постоянно думал о чудовищных космических расстояниях или гигантских интервалах времени, которыми измеряются космические события. Работая, он думал совсем иными масштабами, оперировал образами, крайне упрощёнными, но зато удобными, такими, которые легко себе представить. Ну, скажем, Солнце он представлял себе как некий шар размером поменьше футбольного мяча. А иногда и нашу Галактику считал однородным телом, приравнивал её к своего рода плоскому Солнцу, хотя в Галактике десятки миллиардов похожих на него звёзд, а сама она в тысячи миллиардов раз больше Солнца. Чтобы почувствовать масштабы всех этих упрощений, напомним, что Солнце — это огненный шар диаметром 1,5 миллиона километров, что примерно в 120 раз больше, чем диаметр нашей планеты.

В нашем рассказе об электричестве очень часто будут встречаться подобные упрощения истинной картины: изменение масштабов, использование образов искажённых, но более удобных для обдумывания.

Мы будем, например, представлять себе атомные ядра и даже сами атомы маленькими шариками, такими горошинами, песчинками или мельчайшими крупинками соли. А ведь всё это сложнейшие системы, собранные из множества разнообразных деталей, размеры которых невообразимо малы — в миллионы и миллиарды раз меньше той же пляжной песчинки.

Мы будем часто пользоваться простыми аналогиями, сравнивая, например, электромагнитные процессы с механическими: переменный ток с качелями или накопление электрических зарядов в конденсаторе с наполнением ведра водой. В то же время сходство между этими процессами чисто внешнее, их физическая сущность совершенно разная.

Мы, наконец, будем пользоваться привычными, житейскими словами, чтобы рассказать о сложных электрических или магнитных явлениях, будем, например, употреблять такие выражения, как «электроны быстро побежали», или «магнитное поле старается помешать нара-

танию тока», или даже «атомное ядро не хочет отпускать электроны». Подобные выражения в книге встречаются настолько часто, что пришлось отказаться от традиционных кавычек, иначе страницы были бы просто переполнены этим типографским знаком. Иногда, чтобы привлечь ваше внимание, в основном тексте будет напоминание (Т-8) об этом важном разделе предисловия.

Все упрощения и искажения в книге делаются только для того, чтобы можно было думать о вещах сложных и непривычных, пользуясь знакомыми и понятными словами, образами, сравнениями. Чтобы облегчить познание нового, опираясь на то, что уже известно. Встречаясь в тексте с грубыми механическими моделями электрических схем, с сильно упрощённым описанием структур или процессов, с разного рода прыжками электронов или стараниями магнитных полей, нужно помнить, что всё это, так сказать, военная хитрость, необходимая для штурма крепостей непонятного. И что упрощённое описание какой-либо физической сложности — это не более чем упрощённое описание.

Т-9. Автор должен предупредить, что книга имеет серьёзный недостаток, его нельзя было избежать, но в будущем, надеюсь, удастся исправить. Уже с самых первых набросков плана книги автору стало ясно, что в ней не удастся рассказать об электричестве всё, что хотелось бы. Электричество с давних пор имеет, образно говоря, две основные профессии — оно работает в энергетике и в информатике. Сегодня применение электричества в информатике превратилось в гигантскую область науки, техники, технологии, эту область обычно называют радиоэлектроника, или просто электроника, она объединяет радиосвязь, радиовещание, телевидение, электронную автоматику, вычислительную технику, медицинскую электронику, радиолокацию, робототехнику и много других уже давно самостоятельных научных и технологических направлений.

Чтобы не переходить на скороговорку и не превысить разумный объём книги, для неё была выбрана традиционная структура учебников электротехники: в книге рассказывается об электрических цепях постоянного и переменного тока и об использовании электричества в энергетике. О применении электричества в информатике в таких учебниках, как правило, рассказывают очень скупо, а случается, вообще не вспоминают. И в этой книге электронике отведено сравнительно немного места (одна глава из двадцати), и тема эта введена главным образом для того, чтобы напомнить о её существовании. Электричество в информатике — это настолько большая и многообразная сфера, что даже не очень детальный рассказ о ней потребовал бы отдельной книги побольше этой. Автор надеется в обозримом будущем подготовить такую книгу, завершив тем самым начатый рассказ об электричестве.

Здесь, пожалуй, уместно признаться, что и эта книга, и планируемая следующая берут своё начало из одного источника — из учебной книги для радиолюбителя «Электроника шаг за шагом». Некоторые её разделы (приёмники, усилители, высококачественное воспроизведение звука, транзисторные схемы) отдельными изданиями начали выходить еще в 1959 году, в полном объёме книга впервые вышла в 1979 году и затем с дополнениями и изменениями ещё три раза переиздавалась, последний раз в 2001 году. За прошедшие годы электроника, конечно, стала неузнаваемой, но основные, учебные разделы книги вряд ли нужно считать устаревшими — электрический ток, как и сто лет назад, мы измеряем в амперах, а устройство атома упрощённо рассматриваем в виде некоторого подобия Солнечной системы.

Т-10. Читатель получает последнее и при этом самое важное предупреждение. Независимо от того, какую вы выберете последовательность знакомства с книгой, вам просто необходимо в числе первых познакомиться с разделом Т-195. Он посвящён некоторым воздействиям электричества на человеческий организм и содержит несколько чрезвычайно важных правил.

Когда имеешь дело с электричеством — шутки в сторону, даже безобидный обычно электрический аппарат может стать источником серьёзной травмы. Да что там травма — может привести к гибели человека. Ежегодно при взаимодействии с электричеством в мире гибнет почти 20 тысяч человек — страшная цифра. И, как правило, люди гибнут по глупому: по неосторожности, по неграмотности или из-за неуместной удачи. В большинстве случаев несчастья могло бы не быть, если бы соблюдались очень простые правила — правила техники безопасности.

Познакомьтесь с этими правилами, вникните в их суть, запомните их и неукоснительно соблюдайте — здесь лучше перестараться, чем недосмотреть.

На этом позвольте закончить наше несколько затянувшееся предисловие. Всё, что хотелось в нём сказать, сказано, все предупреждения сделаны, и можно отправляться в путь.

Оглавление

ГЛАВА 1. Десять важных предупреждений	3
Т-1. Очень может быть, что читателю эта книга совершенно не нужна.....	3
Т-2. В то же время есть немало людей, которым не обойтись без знакомства с электричеством, и книга поможет сделать в этом деле первые шаги.	4
Т-3. Многие получают от знакомства с электричеством реальную пользу, хотя напрямую с ним не связаны.	4
Т-4. Кое-что об электричестве полезно знать даже тем, кто терпеть не может точные науки и совершенно не интересуется техникой.	4
Т-5. Предлагаемая читателю книга, так сказать, многоэтажна, в ней, в частности, есть тематические этажи, разные по уровню сложности.	5
Т-6. Читатель может в различной последовательности знакомиться с разделами книги.	9
Т-7. Книга написана на нескольких разных языках, освоить их — значит сделать самый важный шаг в изучении электричества.....	10
Т-8. Многое в книге излагается упрощённо, а кое-что очень упрощённо и, может быть, даже слишком упрощённо.	13
Т-9. Автор должен предупредить, что книга имеет серьёзный недостаток, его нельзя было избежать, но в будущем, надеюсь, удастся исправить.	14
Т-10. Читатель получает последнее и при этом самое важное предупреждение.	15
ГЛАВА 2. Где живёт и как действует янтарная сила	16
Т-11. Каждый человек встречался с электричеством, но далеко не каждый решится объяснить, что это такое.....	16
Т-12. Мир, в котором мы живём, устроен намного сложнее, чем кажется с первого взгляда.	17

T-13. История человека и человечества в семи абзацах.	18
T-14. Люди не быстро выясняли, как что устроено в природе.	22
T-15. На сжатой в 30 миллионов раз шкале времени открытие Америки произошло примерно 8 минут назад.	23
T-16. Наряду с бессчётными вопросами, на которые можно ответить детально и конкретно, есть несколько «почему?», допускающих пока только один ответ: «Так устроен наш мир»....	25
T-17. Электричество — одна из важнейших важностей нашего мира, одна из действующих в нём главных сил.	27
T-18. При своём рождении наша Вселенная получилась такой, что практически у всех атомных частиц есть масса, а у некоторых к тому же есть ещё и электрический заряд.	30
T-19. Человек ищет помощников.	31
T-20. В природе есть несколько видов фундаментальных сил, электричество — одна из них.	31
T-21. К электричеству нужно просто привыкнуть, как мы от рождения привыкли к гравитации.	34
T-22. Электричество бывает двух видов, двух сортов, и придумали им такие названия: «положительное электричество» и «отрицательное электричество».	35
T-23. В наэлектризованных палочках у некоторых молекул чувствуется электрический заряд.	37
T-24. В поисках элементарного, то есть самого маленького в природе, электрического заряда мы разбираем молекулу на атомы.	39
T-25. Несколько похвальных слов моделям и моделированию.	40
T-26. Планетарная модель атома — в центре массивное ядро, вокруг него вращаются электроны.	41
T-27. Действующая модель атома водорода.	44
T-28. Атомные частицы электрон и протон содержат мельчайшие порции электрических зарядов.	44
T-29. Атомы разных химических элементов различаются числом протонов в ядре.	47
T-30. Положительный ион и отрицательный ион — атомы, у которых нарушено электрическое равновесие и каких-то зарядов (+ или -) в них больше.	49
T-31. Электрические силы могли бы работать в машинах.	51
ГЛАВА 3. Завод, где работают электроны	52
T-32. Много из того, что было и ещё будет рассказано, есть большая неправда, поскольку не упоминает о существовании квантовой механики.	52
T-33. Электроны и ионы могут находиться в свободном состоянии и перемещаться в межатомном пространстве.	54

T-34. Участвующие в электрическом токе электроны и (или) ионы, могут создавать тепло и свет, а также перемещать вещество.	57
T-35. Проводники, полупроводники, изоляторы — вещества с различным содержанием свободных электрических зарядов.	59
T-36. Генератор и нагрузка — основные элементы электрической цепи	62
T-37. Натёртые пластмассовая и стеклянная палочки в роли генератора, металлический проводник — в роли нагрузки.	63
T-38. Наряду с веществом существует и такой вид материи, как поле	65
T-39. Тот, кто хочет чувствовать себя свободно в электрическом королевстве, непременно должен научиться дополнять открывшуюся ему простую картину мира.	67
T-40. Уже древние греки, продолжив свои опыты, могли бы создать в проводнике электрический ток — упорядоченное движение электронов.	69
T-41. Химический генератор — первое знакомство.	72
T-42. Карманный фонарик — простейшая реальная электрическая цепь.	74
ГЛАВА 4. Не нужно бояться вопроса «сколько?»	76
T-43. Об электрической цепи иногда необходимо рассказывать не словами, а цифрами.	76
T-44. Единица электрического заряда — кулон (К).	77
T-45. Единица силы тока — ампер (А).	79
T-46. Встречаясь со словом «сила», нужно помнить, что оно может иметь несколько разных значений.	81
T-47. Система единиц — комплект взаимосвязанных единиц измерения, который наряду с принципиальными достоинствами позволяет упростить вычисления.	83
T-48. Единица силы (веса) — ньютон (Н).	85
T-49. Единица работы и энергии — джоуль (Дж).	86
T-50. Единица мощности — ватт (Вт).	89
T-51. Иногда работу или энергию указывают не в джоулях, а в ватт-секундах или киловатт-часах.	91
T-52. Единица электродвижущей силы — вольт (В).	91
T-53. Единица электрического сопротивления — ом (Ом).	93
T-54. Единица электрического напряжения — вольт (В).	96
T-55. Зная основную единицу измерения, можно легко получить более мелкие и более крупные единицы.	97
ГЛАВА 5. Конституция электрической цепи	98
T-56. Закон Ома — один из очень простых, понятных и в то же время очень важных законов электрической цепи.	98
T-57. О некотором отличии закона об охране авторских прав от закона всемирного тяготения.	99

T-58. Закон надо знать точно	100
T-59. Формулы — короткий и удобный способ записи влияния одних величин на другие.	101
T-60. Бегло взглянув на формулу, можно сразу увидеть, какая величина от какой и как зависит.....	101
T-61. Из основной формулы закона Ома можно получить две удобные расчётные формулы для вычисления э.д.с. E и сопротивления R	105
T-62. Сопротивление (резистор) — деталь, основная задача которой оказывать определённое сопротивление электрическому току.	105
T-63. В виде резисторов (сопротивлений) на схемах часто отображают самые разные приборы, аппараты и элементы цепи.....	107
T-64. Попытка заглянуть внутрь электрической цепи, чтобы понять обстановку на границах.	108
T-65. Во всех участках последовательной цепи сила тока одинакова.	109
T-66. Забыв на некоторое время об электричестве, мы берём санки и отправляемся на поиски пригодной для спуска снежной горки. ..	111
T-67. Созданные генератором избыточные заряды автоматически распределяются в последовательной цепи так, чтобы ток везде был одинаковым	112
T-68. Электродвижущая сила генератора делится между участками последовательной цепи, часть э.д.с., доставшаяся какому- нибудь из них, называется напряжением U на этом участке и измеряется в вольтах (В).	113
T-69. Работоспособность (в вольтах) в какой-либо точке электрической цепи или электрического поля часто называют её потенциалом.	114
T-70. На любом участке электрической цепи действует закон Ома, по сути, такой же, как закон Ома для всей цепи.	114
T-71. Напряжение U на участке цепи зависит от силы тока I , который проходит по этому участку, и от его сопротивления R	115
ГЛАВА 6. Думайте на языке электрических схем.....	116
T-72. Условное направление тока — от «плюса» к «минусу».....	116
T-73. Определяя силу тока, надо учитывать все движущиеся заряды.....	118
T-74. При параллельном соединении резисторов их общее сопротивление меньше наименьшего.....	120
T-75. Мощность в электрической цепи — произведение тока на напряжение.	121
T-76. Несколько полезных грамматических правил для языка электрических схем.....	125
T-77. Несколько полезных образов для языка электрических схем. ...	126

T-78. Последовательная цепь — делитель напряжения, параллельная — делитель тока.	129
T-79. Особые делители — шунт и добавочное сопротивление.	130
T-80. Чтобы увеличить нагрузку, нужно уменьшить сопротивление нагрузки.	131
T-81. Напряжение на выходе генератора всегда меньше, чем э.д.с., и оно падает с увеличением нагрузки.	132
T-82. Электротехника — наука о контактах.	134
T-83. Вольтметр, амперметр и омметр — приборы для измерения э.д.с. (напряжения), тока и сопротивления.	135
T-84. Сложная электрическая цепь — система из последовательно и параллельно соединённых элементов.	137
T-85. Меняя какой-либо элемент сложной схемы, нужно понимать, как изменятся токи и напряжения на разных её участках.	137
T-86. Рассматривая сложную электрическую схему, очень важно не терять уверенности в том, что во всё́м в итоге можно разобратъся.	138
T-87. Главная действующая сила недолго будет оставаться в тени.	139
ГЛАВА 7. Рождённый движением	140
T-88. С магнитными силами, так же как с гравитационными и электрическими, проще всего познакомиться в простейших опытах.	140
T-89. Северный и южный полюсы магнита — два участка с особо сильно выраженными магнитными свойствами, но свойствами разного сорта.	142
T-90. Поляризация — физическое явление, которое объясняет некоторые загадочные электрические и магнитные процессы.	143
T-91. Магнитное поле, оказывается, можно получить, размахивая натёртой пластмассовой палочкой.	147
T-92. Магнитное поле всегда замкнуто.	150
T-93. Нехитрое изобретение превращает проводник с током в стержневой магнит с явно выраженными полюсами — северным и южным.	153
T-94. Катушка: ток последовательно проходит по нескольким виткам провода и их магнитные поля суммируются.	155
T-95. Ферромагнитные и парамагнитные вещества в разной степени усиливают магнитное поле, диамагнитные ослабляют его.	156
T-96. Основные характеристики магнитного поля — напряжённость H , магнитная индукция B и магнитный поток Φ	157
T-97. Путь, по которому замыкается магнитное поле, часто называют магнитной цепью.	161

T-98. В электрических приборах и аппаратах часто встречаются магнитные элементы.	163
T-99. Странное поведение ферромагнитного сердечника становится причиной некоторых неприятностей и в то же время основой для замечательных изобретений.	166
ГЛАВА 8. Парад великих превращений	170
T-100. Всё многообразие электродвигателей, все их неисчислимы количества берут начало с открытия, сделанного примерно 200 лет назад.	170
T-101. Правило левой руки позволяет узнать, куда движется проводник с током, помещённый в магнитное поле.	175
T-102. В проводнике, который движется в магнитном поле, индуцируется (наводится) электродвижущая сила.	180
T-103. Правило правой руки указывает направление э.д.с. и тока, которые появятся у проводника, если его двигать в магнитном поле.	183
T-104. Чем быстрее проводник пересекает магнитное поле, тем больше э.д.с., наведённая в этом проводнике.	184
T-105. Чтобы увеличить наведённую э.д.с., можно свернуть проводник в катушку или (и) быстрее менять магнитное поле.	185
T-106. Во многих процессах решающую роль играет не само значение какой-либо величины, а скорость её изменения.	186
T-107. Разновидность электромагнитной индукции — взаимоиндукция.	187
T-108. Ещё одна разновидность электромагнитной индукции — самоиндукция.	188
ГЛАВА 9. Краткая экскурсия по полям	190
T-109. Индуктивность L катушки говорит о том, насколько эффективно она создаёт магнитное поле с помощью протекающего по ней тока.	190
T-110. Катушка запасает энергию в своём магнитном поле.	191
T-111. Конденсатор запасает энергию в своём электрическом поле.	193
T-112. Электрическая ёмкость характеризует способность конденсатора, и вообще любого физического тела, накапливать электрические заряды. Единица ёмкости — фарад, Ф.	195
T-113. Конденсатор, объединившись с резистором, может стать элементом отсчёта времени.	199
T-114. Свободные электрические заряды, создавая ток, двигаются очень медленно, а вот электрическое и магнитное поля несутся со скоростью света.	202

- T-115. Проводник, пересекая магнитное поле, указывает прямой путь к созданию электрических генераторов.....203
- T-116. Любой энергетический агрегат, в том числе электрогенератор, сам ничего не создаёт, он лишь преобразует один вид энергии в другой.207

ГЛАВА 10. Постоянное непостоянство переменного тока..... 210

- T-117. Если в магнитном поле равномерно вращать проводник, то в нём наведётся переменная синусоидальная э.д.с.....210
- T-118. График — особый рисунок, наглядно показывающий, как одна какая-либо величина зависит от другой.213
- T-119. График переменной электродвижущей силы показывает, как она меняется с течением времени. 217
- T-120. Под действием переменной э.д.с. в цепи идёт переменный ток, а на всех её участках действуют переменные напряжения..... 220
- T-121. Переменный ток может работать так же хорошо, как постоянный.221
- T-122. Приятно всё же встречать технические термины в виде слов родного языка: частота говорит о том, насколько часто повторяется полный цикл переменного тока. Единица частоты — герц, Гц.....222
- T-123. «Мгновенное значение» и «амплитуда» сообщают о работоспособности переменного тока в какой-то определённый момент.223
- T-124. Для того чтобы оценить работоспособность переменного тока в среднем за длительное время, для него придумана характеристика «эффективное значение». 225
- T-125. Фазу и сдвиг фаз надо бы указывать, называя точное время, причём его принято указывать не в секундах, а в градусах.....227
- T-126. Активное сопротивление: ток и напряжение совпадают по фазе.....229
- T-127. Под действием переменного напряжения через катушку индуктивности идёт переменный ток.229
- T-128. Под действием переменного напряжения в цепи конденсатора идёт переменный ток.....230
- T-129. Замечательная математическая кривая синусоида была получена древними математиками как результат несложных геометрических построений. 231
- T-130. Родившаяся из чисто геометрических построений синусоида, как оказалось, описывает много самых разных процессов, в том числе электрических.233
- T-131. Скорость изменения синусоидального напряжения (э.д.с., тока) также изменяется по синусоидальному закону.....234

ГЛАВА 11. Ожидаемые неожиданности	236
T-132. Синусоидальное напряжение создаёт синусоидальный ток через конденсатор; ток опережает напряжение (или, иначе, напряжение отстаёт от тока) на 90 градусов.	236
T-133. Ёмкостное сопротивление X_C , как и R , измеряется в омах и говорит о том, какой будет ток при данном напряжении, однако мощности X_C не потребляет.	237
T-134. Описание фазовых сдвигов нередко вызывает острую критику читателей, забывших, что такие сдвиги не просто есть, но они вполне объяснимы.	240
T-135. Индуктивное сопротивление X_L , как и обычное активное сопротивление R , говорит о том, какой будет ток при данном напряжении, однако, в отличие от R , мощности X_L не потребляет.	245
T-136. Индуктивное сопротивление X_L катушки и её активное сопротивление R нельзя просто сложить, чтобы подсчитать их общее сопротивление.	246
T-137. Векторная диаграмма помогает представить себе и количественно оценить многие процессы, в том числе в цепях переменного тока.	247
ГЛАВА 12. Семь простейших сложных цепей переменного тока	250
T-138. Из семи включённых в список сложных цепей нам осталось познакомиться всего лишь с тремя.	250
T-139. Напряжение, действующее на последовательных цепях RC или RL , можно найти с помощью векторных диаграмм.	251
T-140. При параллельном соединении элементов RC или RL векторная диаграмма строится на основе общего напряжения, а не общего тока.	251
T-141. На векторной диаграмме нетрудно учесть появление третьего элемента и образование последовательной или параллельной LCR -цепи.	252
T-142. Реактивные сопротивления X_L и X_C сильно зависят от частоты, и при её изменении в цепях с L или C меняются напряжения, токи и фазовые сдвиги.	253
T-143. В электрической цепи может одновременно протекать множество переменных токов разных частот, чтобы выделить или подавить какие-либо из них, используют фильтры.	254
ГЛАВА 13. Описание неопишуемого	256
T-144. Всё рассказанное о переменном токе относится только к одной его разновидности — к синусоидальному току.	256

T-145. Спектр переменного тока сложной формы — это эквивалентный ему набор синусоидальных токов с разными частотами и амплитудами.	257
T-146. Посторонние переменные токи могут создавать помехи и исказить информацию, которую переносят электрические сигналы.	261
T-147. С помощью конденсаторов и катушек можно создавать фильтры — электрические цепи, которые по-разному пропускают токи разных частот.	263
T-148. Частотная характеристика — график, рассказывающий о том, как ведёт себя электрическая цепь на разных частотах.	265
T-149. Коэффициент передачи показывает, во сколько раз напряжение или ток на выходе больше или меньше, чем на входе.	266
T-150. Децибел — универсальная единица, показывающая, во сколько раз какая-либо величина больше или меньше другой.	266
ГЛАВА 14. В мире качающихся маятников	268
T-151. Вы тронули гитарную струну, и она запела гимн свободным колебаниям.	268
T-152. В колебательном контуре происходит обмен энергией между конденсатором C и катушкой индуктивности L	271
T-153. В последовательной LCR-цепи индуктивное сопротивление действует против ёмкостного.	274
T-154. На резонансной частоте сильно падает общее сопротивление последовательной LCR-цепи, и ток в ней резко возрастает.	275
T-155. На резонансной частоте сопротивление параллельной LCR-цепи резко возрастает.	276
T-156. Почему резонансную частоту называют резонансной?	277
ГЛАВА 15. Маленькие хитрости большой энергетики	278
T-157. Трансформатор передаёт энергию из одной электрической цепи в другую без непосредственного контакта между ними.	278
T-158. Трансформатор увеличивает либо напряжение, либо ток, ни в коем случае, однако, не увеличивая мощность.	281
T-159. Сопротивление нагрузки в цепи вторичной обмотки трансформатора определяет режим его первичной цепи — создаёт в ней вносимое сопротивление.....	285
T-160. Температурный режим работающего трансформатора: «холодный» — «теплый» — «горячий» — «пошёл дым».	287
T-161. Удивительные профессии простого проводника — сверхпроводимость и скин-эффект.....	290

T-162. «Генератор тока» и «генератор напряжения» — два варианта взаимоотношений между источником и потребителем электроэнергии.	294
T-163. Коэффициент полезного действия — цифра и символ.	296
T-164. Качество работы оценивает тригонометрия (косинус фи).	298
T-165. Трансформатор — машина для преодоления расстояний.	300
T-166. Трое в одной лодке и в общем магнитном поле.	301
T-167. Магнитное поле быстро вращается, перемещается по кругу, наполняя силой электрические мускулы планеты.	304
T-168. Электричество — незаменимый посредник.	305
ГЛАВА 16. Главное о главных	308
T-169. Требуются силачи.	308
T-170. Настоящий генератор: штрихи к портрету.	310
T-171. Электрические машины — всё очень просто и непросто.	313
T-172. Команда «Турбина» уверенно выигрывает у команды «Поршень».	315
T-173. Рождённый летать, как оказалось, прекрасно справляется с чисто наземными делами.	317
T-174. Гравитационные силы работают бесплатно, но платить всё же приходится.	319
T-175. Ядерная энергия создаёт электрическую энергию в основном с помощью старого проверенного мастера.	325
T-176. Отряд догоняющих — солнечная энергия, ветер, земное тепло, Луна.	327
T-177. Электростанция в чемодане и даже в кармане.	339
T-178. Аккумулятор и гальванический элемент — не кладовка, а химический комбинат.	340
T-179. Постоянный, переменный, пульсирующий — любой ток из любого.	345
T-180. Спецназ из цеха генераторов.	347
ГЛАВА 17. Миллион электрических профессий	348
T-181. Неутомимый работник — электрический двигатель.	348
T-182. Да будет свет!	353
T-183. Тепло согревающее, тепло соединяющее.	359
T-184. Электричество помогает электричеству.	362
T-185. Измерительные приборы рассказывают о невидимом и неуловимом.	365
ГЛАВА 18. Бригады прибывают по медному проводу	368
T-186. Незаменимый вклад реальности.	368

T-187. Машины тысячекилометровых размеров — электрические сети и системы.....	371
T-188. При необходимости электричество можно передавать по обходным путям.	372
T-189. Вращение Земли как элемент технологии.....	373
T-190. Непростое электрическое хозяйство потребителя.	374
ГЛАВА 19. Электричество личного пользования	376
T-191. Электричество входит в ваш дом.	376
T-192. Парад домашних электрических работников.....	379
T-193. Закон строг, но справедлив.....	381
T-194. Электричество опасное и электричество безопасное.....	382
ГЛАВА 20. Фантастическая электроника	384
T-195. Шедевры доисторической электроники.....	384
T-196. Информатика выбирает электричество.....	386
T-197. Два вида электрических сигналов — аналоговый и цифровой.	388
T-198. Процессы линейные и нелинейные.	389
T-199. Вакуумный диод — прибор с односторонней проводимостью...390	
T-200. Первый электронный усилительный прибор — вакуумный триод.....	391
T-201. Транзистор — главный работник электроники.	393
T-202. Схемные блоки аналоговой аппаратуры.....	396
T-203. Усилитель.....	397
T-204. Генератор.	397
T-205. Модулятор.	398
T-206. Детектор.	399
T-207. Выпрямитель.	399
T-208. Преобразователь частоты и идея супергетеродинного приёмника.....	400
T-209. Строительные блоки для цифровых схем.	401
T-210. Ограничитель.	401
T-211. Генератор импульсов — мультивибратор.	402
T-212. Триггер: делитель на два и элемент, запоминающий один бит — минимальную порцию информации.....	403
T-213. Элементы логики — схемы И, ИЛИ, НЕТ.....	403
T-214. Сумматор — представитель рассуждающей электроники.....	404
T-215. Шифратор и дешифратор.....	405
T-216. Преобразование аналогового сигнала в цифровой и цифрового в аналоговый.	407
T-217. Миллион профессий электроники.....	409
T-218. Радио: из частотной хижины в дворцы.	409
T-219. СВЧ — совсем другая радиотехника.	410
T-220. Наследники первой электрической профессии.	410

T-221. Сотовый телефон — важный шаг к всеобщей связи.....	411
T-222. На очереди свет.	413
T-223. Электроника — мир бессчётных превращений.	413
T-224. Две неперенные операции — принять и применить.	415
T-225. Передаётся картинка.....	416
T-226. Новая жизнь железной проволоки.	423
T-227. Инструменты для первооткрывателей.	425
T-228. Особая профессия — помощник врача.	429
T-229. Бесшумные шаги минут.	430
T-230. Главное дело электроники и её главный инструмент.....	431
T-231. Сумма технологий сделала электронику Электроникой.....	433
ГЛАВА 21. Задачи на послезавтра	438
T-232. Стратегия стрекозы: не нужно особо задумываться о будущем, когда появятся проблемы — что-нибудь придумаем	438
T-233. Бесплатное электричество из бесплатного света.	439
T-234. Атомная энергия — из претендентов в конкуренты.	440
T-235. Термоядерный синтез — сквозь тернии к звезде.	441
T-236. И снова водород, на этот раз как выгодный посредник.	443
T-237. Солнечную энергию можно, оказывается, использовать и старым способом.	444
T-238. Во всех случаях нужно помнить о главном.....	445
Напутствия с надеждой	446
Оглавление	448