

Радиоловитель

С.А. Никулин, А.В. Повный

# Энциклопедия начинающего радиоловителя

Издательство «Наука и Техника»



С. А. Никулин, А. В. Повный

# Энциклопедия начинающего радиолюбителя



---

Наука и Техника, Санкт-Петербург  
2011

Никулин С. А., Повный А. В.

Энциклопедия начинающего радиолюбителя. — СПб.: Наука и Техника, 2011. — 384 с.

ISBN 978-5-94387-849-7

---

Книга создана специально для **начинающих радиолюбителей**, или, как еще у нас любят говорить, — «чайников». Она рассказывает об азах электроники и электротехники, необходимых радиолюбителю. Теоретические вопросы рассказываются в очень доступной форме и в объеме, необходимом для практической работы. Книга учит правильно паять, проводить измерения, анализ схем. Но, скорее, это книга о занимательной электронике. Ведь основа книги — радиолюбительские самоделки, доступные начинающему радиолюбителю и полезные в быту.

Дополняет рассказ Справочный раздел для радиолюбителя с указанием адресов электронных справочников и Обзор ресурсов сети Интернет, из которого можно тоже почерпнуть много интересного.

Книга предназначена для широкого круга начинающих радиолюбителей.



9 785943 878497

ISBN 978-5-94387-849-7

Автор и издательство не несут ответственности за возможный ущерб, причиненный в ходе использования материалов данной книги.

Контактные телефоны издательства  
(812) 412-70-25, 412-70-26  
(044) 516-38-66

Официальный сайт: [www.nit.com.ru](http://www.nit.com.ru)

© Никулин С. А., Повный А. В.

© Наука и Техника (оригинал-макет), 2011

---

ООО «Наука и Техника».

Лицензия № 000350 от 23 декабря 1999 года.

198097, г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д. 29.

Подписано в печать 27.12.2010. Формат 70×100 1/16.

Бумага газетная. Печать офсетная. Объем 24 п. л.

Тираж 3500 экз. Заказ №

Отпечатано с готовых диапозитивов  
в ГП ПО «Псковская областная типография»

180004, г. Псков, ул. Ротная, 34

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Глава 1. Радиолюбители, знакомьтесь: электротехника</b> .....	<b>6</b>
1.1. Из каких элементов состоит электрическая цепь .....	6
1.2. Чем отличаются разность потенциалов, электродвижущая сила и напряжение .....	9
1.3. Начинаем изучать электрический ток .....	12
1.4. Какие они, проводники электрического тока .....	21
1.5. О чем говорит основной закон электротехники .....	26
1.6. Соединим резисторы последовательно и параллельно .....	27
1.7. Как найти электрическую работу и мощность .....	33
1.8. Почему провод нагревается электрическим током? .....	35
1.9. Какие беды несут короткие замыкания .....	37
1.10. Как измерить ток и напряжение .....	38
1.11. Знакомьтесь: разветвленные электрические цепи .....	42
1.12. В чем особенность электрического тока в жидкостях и газах .....	43
1.13. Рассмотрим магнитное поле электрического тока .....	47
1.14. Какие материалы называются магнитными .....	50
1.15. Когда в проводнике возникает электромагнитная индукция .....	52
1.16. Полезны или вредны индукционные токи? .....	56
1.17. Как работает трансформатор .....	57
1.18. Как устроен и работает электродвигатель постоянного тока .....	61
1.19. Как устроен и работает асинхронный электродвигатель .....	65
1.20. Знакомьтесь: электрическое поле и электростатическая индукция .....	69
1.21. Что такое электрическая емкость, и как работают конденсаторы .....	71
1.22. Рассмотрим трехфазный переменный ток .....	76
1.23. Как повысить коэффициент мощности в цепях синусоидального тока .....	81
<b>Глава 2. Радиолюбители, знакомьтесь: электроника</b> .....	<b>84</b>
2.1. Первые шаги в электронику .....	84
2.2. Рассмотрим основные свойства полупроводников .....	87
2.3. Полупроводниковые резисторы .....	89
2.4. Полупроводниковые диоды .....	89
2.5. Транзисторы .....	92
2.6. Тиристоры .....	99
2.7. Оптоэлектронные приборы .....	101
2.8. Интегральные микросхемы .....	101
2.9. Обозначение полупроводниковых приборов .....	102
2.10. Приборы и устройства индикации .....	103
2.11. Электронные усилители .....	108
2.12. Электронные генераторы .....	116
2.13. Логические устройства .....	121

2.14.	Цифровые устройства .....	124
2.15.	Преобразовательные устройства .....	135
2.16.	Электрические датчики .....	147
<b>Глава 3.</b>	<b>Радиолюбителям о микропроцессорных системах .....</b>	<b>156</b>
3.1.	Цифровая информация .....	156
3.2.	Структура микропроцессорной системы .....	159
3.3.	Микропроцессоры .....	160
3.4.	Устройства памяти .....	163
3.5.	Алгоритм работы микропроцессорной системы .....	167
3.6.	Интерфейсы .....	170
3.7.	Микроконтроллеры .....	176
3.8.	Языки программирования .....	179
3.9.	Применение микропроцессорных систем в электротехнике .....	183
<b>Глава 4.</b>	<b>Берем в руки паяльник .....</b>	<b>188</b>
4.1.	Что такое пайка? .....	188
4.2.	Оборудуем рабочее место радиолюбителя .....	190
4.3.	Паяльник или паяльная станция? .....	193
4.4.	Подготовка нового паяльника к работе .....	202
4.5.	Ремонт стержневого паяльника .....	205
4.6.	Выбираем и правильно используем припой .....	207
4.7.	Выбираем и правильно используем флюс .....	212
4.8.	Меры безопасности для радиолюбителя .....	219
4.9.	Научимся правильно паять .....	223
4.10.	Соединение различных металлов .....	234
4.11.	Радиолюбительские конструкции для регулировки температуры жала паяльника .....	257
4.12.	Полезные конструкции для эффективной пайки .....	267
<b>Глава 5.</b>	<b>Полезные радиолюбительские самоделки .....</b>	<b>270</b>
5.1.	Изготовление печатных плат с помощью компьютера .....	270
5.2.	Логические микросхемы: от теории к практике .....	274
5.3.	Примеры практического применения микросхемы К155ЛА3 .....	280
5.4.	Как подключить нагрузку к блоку управления на микросхемах .....	298
5.5.	Простой логический пробник .....	303
5.6.	Индикаторы и сигнализаторы на регулируемом стабилитроне TL431 .....	307
5.7.	Простой терморегулятор .....	312
5.8.	Повышающий регулятор мощности для паяльника .....	314
5.9.	Простой регулятор мощности для плавного включения ламп, собранный на микросхеме КР1182ПМ1 .....	316
5.10.	Схема плавного запуска трехфазного двигателя, выполненная на базе микросхем КР1182ПМ1 .....	319
5.11.	Простой преобразователь 12 В в 220 В 50 Гц .....	325
5.12.	Ступенчатый регулятор напряжения, поддерживающий сетевое напряжение в пределах 190—242 В .....	328

5.13. Устройство защиты от превышения напряжения .....	332
5.14. Мощный преобразователь напряжения автомобильного аккумулятора в переменное напряжение 220 В .....	333
5.15. Преобразователь напряжения 12/220 В, 50 Гц .....	335
<b>Глава 6. Радиоловительские измерения при поиске неисправностей .....</b>	<b>337</b>
6.1. С чего начинать поиск неисправностей .....	337
6.2. Измерение электрических величин .....	341
6.3. Как использовать универсальные измерительные приборы .....	345
6.4. Простейшие способы проверки исправности электронных компонентов ..	348
6.5. Испытания компонентов с использованием универсальных измерительных приборов .....	353
6.6. Генераторы сигналов сложной формы .....	361
6.7. Частотомеры .....	366
6.8. Осциллографы .....	369
<b>Глава 7. Читаем и рисуем электрические схемы .....</b>	<b>372</b>
<b>Глава 8. Интернет для радиоловителей .....</b>	<b>376</b>
<b>Справочники по электронным компонентам в сети Интернет .....</b>	<b>379</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>381</b>
<b>Список ресурсов Интернет .....</b>	<b>382</b>

## РАДИОЛЮБИТЕЛИ, ЗНАКОМЬТЕСЬ: ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

*Простейшие электрические и магнитные явления известны с глубокой древности. Близ города Магнесия в Малой Азии были найдены удивительные камни (по месту нахождения их называли магнитными, или магнитами), которые притягивали железо. Кроме того, древние греки обнаружили, что кусочек янтаря (по-гречески янтарь — elektron), потертый о шерсть, мог поднимать маленькие клочки папируса. Именно словам «магнит» и «электрон» обязаны своим происхождением термины «магнетизм» и «электричество».*

### 1.1. Из каких элементов состоит электрическая цепь

#### Состав электрической цепи

Простейшая электрическая цепь состоит из источника (гальванического элемента, аккумулятора, генератора и т. п.), потребителей или приемников электрической энергии (ламп накаливания, электронагревательных приборов, электродвигателей и т. п.) и соединительных проводов, соединяющих зажимы источника напряжения с зажимами потребителя (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Схема электрической цепи

**Это полезно запомнить.**

**Электрическая цепь** — совокупность соединенных между собой источников электрической энергии, приемников и соединяющих их проводов (линия передачи).

Электрическая цепь делится на **внутреннюю** и **внешнюю** части. К внутренней части электрической цепи относится сам источник электрической энергии. Во внешнюю часть цепи входят соединительные провода, потребители, рубильники, выключатели, электроизмерительные приборы, т. е. все то, что присоединено к зажимам источника электрической энергии.

**Это интересно знать.**

**Электрический ток** может протекать только по замкнутой электрической цепи. Разрыв цепи в любом месте вызывает прекращение электрического тока.

Виды электрической цепи:

- ♦ **электрические цепи постоянного**, в которых ток не меняет своего направления, т. е. полярность источников ЭДС в которых постоянна.
- ♦ **электрические цепи переменного тока**, в которых протекает ток, который изменяется во времени.

### Элементы электрической цепи

**Источники питания цепи** — это гальванические элементы, электрические аккумуляторы, электромеханические генераторы, термоэлектрические генераторы, фотоэлементы и др. В современной технике в качестве источников энергии применяют главным образом электрические генераторы. Все источники питания имеют внутреннее сопротивление, значение которого невелико по сравнению с сопротивлением других элементов электрической цепи.

**Электроприемниками** постоянного тока являются электродвигатели, преобразующие электрическую энергию в механическую, нагревательные и осветительные приборы, электролизные установки и др.

В качестве **вспомогательного оборудования** в электрическую цепь входят аппараты для включения и отключения (например, рубильники), приборы для измерения электрических величин (например,

амперметры и вольтметры), аппараты защиты (например, плавкие предохранители).



**Это интересно знать.**

*Все электроприемники характеризуются электрическими параметрами, среди которых основные — **напряжение и мощность**. Для нормальной работы электроприемника на его зажимах необходимо поддерживать номинальное напряжение.*

### Виды элементов электрической цепи

Элементы электрической цепи делятся на активные и пассивные:

- ♦ к **активным элементам электрической цепи** относятся те, в которых индуцируется ЭДС (источники ЭДС, электродвигатели, аккумуляторы в процессе зарядки и т. п.);
- ♦ к **пассивным элементам** относятся электроприемники и соединительные провода.

Элементы электрической цепи, обладающие электрическим сопротивлением, характеризуются так называемой **вольтамперной характеристикой**.



**Это полезно запомнить.**

***Вольтамперная характеристика** — это зависимость напряжения на зажимах элемента от тока в нем или зависимость тока в элементе от напряжения на его зажимах.*

Если сопротивление элемента постоянно при любом значении тока в нем и любом значении приложенного к нему напряжения, то вольтамперная характеристика прямая линия и такой элемент называется **линейным элементом**.

Электрическая цепь, электрическое сопротивление участков которой не зависит от значений и направлений токов и напряжений в цепи, называется **линейной электрической цепью**. Такая цепь состоит только из линейных элементов, а ее состояние описывается линейными алгебраическими уравнениями.

Если сопротивление элемента цепи существенно зависит от тока или напряжения, то вольтамперная характеристика носит нелинейный характер, а такой элемент называется **нелинейным элементом**.

Электрическая цепь, электрическое сопротивление хотя бы одного из участков которой зависит от значений или от направлений токов и напряжений в этом участке цепи, называется **нелинейной электрической цепью**. Такая цепь содержит хотя бы один нелинейный элемент.

## 1.2. Чем отличаются разность потенциалов, электродвижущая сила и напряжение

### Разность потенциалов

Известно, что одно тело можно нагреть больше, а другое меньше. Степень нагрева тела называется его **температурой**. Подобно этому, одно тело можно наэлектризовать больше другого. Степень электризации тела характеризует величину, называемую **электрическим потенциалом** или просто потенциалом тела.

Что значит наэлектризовать тело? Это значит сообщить ему **электрический заряд**, т. е. прибавить к нему некоторое количество электронов. Если мы тело заряжаем отрицательно, или отнять их от него, если мы тело заряжаем положительно. В том и другом случае тело будет обладать определенной степенью электризации, т. е. тем или иным потенциалом, причем тело, заряженное положительно, обладает положительным потенциалом, а тело, заряженное отрицательно, — отрицательным потенциалом.



#### **Это полезно запомнить.**

*Разность уровней электрических зарядов двух тел принято называть **разностью электрических потенциалов** или просто **разностью потенциалов**.*



#### **Это интересно знать.**

*Разность потенциалов существует также между двумя такими телами, одно из которых заряжено, а другое не имеет заряда. Так, например, если какое-либо тело, изолированное от земли, имеет некоторый потенциал, то разность потенциалов между ним и землей (потенциал которой принято считать равным нулю) численно равна потенциалу этого тела.*

Итак, если два тела заряжены таким образом, что потенциалы их неодинаковы, между ними неизбежно существует разность потенциалов.

Всем известное явление **электризации** расчески при трении ее о волосы есть не что иное, как создание разности потенциалов между расческой и волосами человека. Действительно, при трении расчески о волосы часть электронов переходит на расческу, заряжая ее отрицательно. Волосы же, потеряв часть электронов, заряжаются в той же степени, что и расческа, но положительно. Созданная таким образом разность потенциалов может быть сведена к нулю прикосновением расчески к волосам. Этот обратный переход электронов легко обнаруживается на слух, если наэлектризованную расческу приблизить к уху. Характерное потрескивание будет свидетельствовать о происходящем разряде.

Говоря выше о разности потенциалов, мы имели в виду два заряженных тела, однако разность потенциалов можно получить и между различными частями (точками) одного и того же тела.

Так, например, рассмотрим, что произойдет в куске медной проволоки, если под действием какой-либо внешней силы нам удастся свободные электроны, находящиеся в проволоке, переместить к одному концу ее. Очевидно, на другом конце проволоки получится недостаток электронов, и тогда между концами проволоки возникнет разность потенциалов.

Стоит нам прекратить действие внешней силы, как электроны тотчас же, в силу притяжения разноименных зарядов, устремятся к концу проволоки, заряженному положительно, т. е. к месту, где их недостает, и в проволоке вновь наступит электрическое равновесие.

### Электродвижущая сила и напряжение

Для поддержания электрического тока в проводнике необходим какой-то внешний источник энергии, который все время поддерживал бы разность потенциалов на концах этого проводника.

Таковыми источниками энергии служат так называемые **источники электрического тока**, обладающие определенной **электродвижущей силой**, которая создает и длительное время поддерживает разность потенциалов на концах проводника.



**Это полезно запомнить.**

**Электродвижущая сила (сокращенно ЭДС) обозначается буквой  $E$ . Единицей измерения ЭДС служит **вольт**.**

У нас в стране вольт сокращенно обозначается буквой «В», а в международном обозначении — буквой «V».

Итак, чтобы получить непрерывное течение электрического тока, нужна электродвижущая сила, т. е. нужен источник электрического тока.

Первым таким источником тока был так называемый «**вольтов столб**», который состоял из ряда медных и цинковых кружков, положенных кожей, смоченной в подкисленной воде. Таким образом, одним из способов получения электродвижущей силы является химическое взаимодействие некоторых веществ, в результате чего химическая энергия превращается в энергию электрическую. Источники тока, в которых таким путем создается электродвижущая сила, называются **химическими источниками тока**.

В настоящее время химические источники тока — **гальванические элементы и аккумуляторы** — широко применяются в электротехнике и электроэнергетике.

Другим основным источником тока, получившим широкое распространение во всех областях электротехники и электроэнергетики, являются **генераторы**.

Генераторы устанавливаются на электрических станциях и служат источником тока для питания электроэнергией промышленных предприятий, электрического освещения городов, электрических железных дорог, трамвая, метро, троллейбусов.

Как у химических источников электрического тока (элементов и аккумуляторов), так и у генераторов, действие электродвижущей силы совершенно одинаково. Оно заключается в том, что ЭДС создает на зажимах источника тока разность потенциалов и поддерживает ее длительное время.

Эти зажимы называются **полюсами источника тока**. Один полюс источника тока испытывает всегда недостаток электронов и, следовательно, обладает положительным зарядом, другой полюс испытывает избыток электронов и, следовательно, обладает отрицательным зарядом.

Соответственно этому один полюс источника тока называется **положительным (+)**, другой — **отрицательным (-)**.

Источники тока служат для питания электрическим током различных приборов — потребителей тока. Потребители тока при помощи проводников соединяются с полюсами источника тока, образуя замкнутую электрическую цепь.

**Это полезно запомнить.**

*Разность потенциалов, которая устанавливается между полюсами источника тока при замкнутой электрической цепи, называется **напряжением** и обозначается **буквой U**.*

Единицей измерения напряжения, так же как и ЭДС, служит вольт. Если, например, надо записать, что напряжение источника тока равно 12 вольтам, то пишут:  $U = 12 \text{ В}$ . Для измерения ЭДС или напряжения применяется прибор, называемый **вольтметром**.

Чтобы измерить ЭДС или напряжение источника тока, надо вольтметр подключить непосредственно к его полюсам. При этом если электрическая цепь разомкнута, то вольтметр покажет ЭДС источника тока. Если же замкнуть цепь, то вольтметр уже покажет не ЭДС, а напряжение на зажимах источника тока.

**Это интересно знать.**

*ЭДС, развиваемая источником тока, всегда больше напряжения на его зажимах.*

## 1.3. Начинаем изучать электрический ток

### Что такое электрический ток

**Это полезно запомнить.**

***Электрический ток** — направленное движение электрически заряженных частиц под воздействием электрического поля.*

Движущимися частицами могут являться:

- ♦ в проводниках — электроны;
- ♦ в электролитах — ионы (катионы и анионы);
- ♦ в полупроводниках — электроны и, так называемые, «дырки» («электронно-дырочная проводимость»).

Также существует «**ток смещения**», протекание которого обусловлено процессом заряда емкости, т. е. изменением разности потенциалов между обкладками. Между обкладками никакого движения частиц не происходит, но ток через конденсатор протекает.

Ток характеризуется силой тока, которая в системе СИ измеряется в **амперах (А)**, и плотностью тока, которая в системе СИ измеряется в **амперах на квадратный метр**. Один ампер соответствует перемещению через поперечное сечение проводника в течение одной секунды (с) заряда электричества величиной в один кулон (Кл):

$$1 \text{ А} = 1 \text{ Кл}/1 \text{ с.}$$

В общем случае, обозначив ток буквой **i**, а заряд **q**, получим:

$$i = dq/dt.$$

Величина, равная отношению тока к площади поперечного сечения **S**, называется **плотностью тока** (обозначается  $\delta$ ):

$$\delta = I/S.$$

При этом предполагается, что ток равномерно распределен по сечению проводника. Плотность тока в проводах обычно измеряется в А/мм<sup>2</sup>.



**Это интересно знать.**

*За направление тока принимается направление, в котором перемещаются положительно заряженные частицы, т. е. направление, противоположное перемещению электронов.*

Для установившихся режимов различают два вида токов: постоянный и переменный.



**Это полезно запомнить.**

***Постоянным** называют ток, который может изменяться по величине, но не изменяет своего знака сколь угодно долгое время.*

***Переменным** называют ток, который периодически изменяется как по величине, так и по знаку (направлению).*

## Переменный ток

Скорость изменения переменного тока характеризуется его **частотой**, определяемой как число полных повторяющихся колебаний в единицу времени. Частота обозначается буквой **f** и измеряется в **герцах (Гц)**. Так, частота тока в сети 50 Гц соответствует 50 полным колебаниям в секунду.

Угловая частота  $\omega$  — скорость изменения тока в радианах в секунду и связана с частотой простым соотношением:

$$\omega = 2\pi f.$$



**Это интересно знать.**

Прописной буквой *I* обозначают установившиеся (фиксированные) значения постоянного и переменного токов. Неустановившиеся (мгновенные) значения обозначают малой буквой *i*.

Переменные токи подразделяют на синусоидальные и несинусоидальные. Синусоидальным называют ток, изменяющийся по гармоническому закону:

$$i = I_m \sin \omega t,$$

где  $I_m$  — амплитудное (наибольшее) значение тока, А.

Под переменным током также подразумевают ток в обычных одно- и трехфазных сетях. В этом случае параметры переменного тока изменяются по гармоническому закону.

Чтобы вызвать в цепи такой ток, используются источники переменного тока, создающие переменную ЭДС, периодически изменяющуюся по величине и направлению. Такие источники называются генераторами переменного тока.

На рис. 1.2 показана схема устройства (модель) простейшего генератора переменного тока.

Прямоугольная рамка, изготовленная из медной проволоки, укреплена на оси. При помощи ременной передачи вращается в поле магнита. Концы рамки припаяны к медным контактным кольцам, которые, вращаясь вместе с рамкой, скользят по контактным пластинам (щеткам).

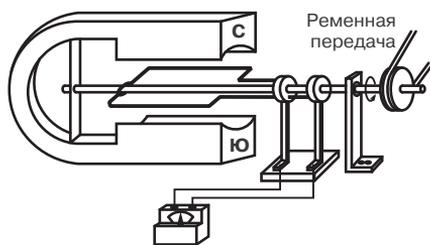


Рис. 1.2. Схема простейшего генератора переменного тока

вращаясь вместе с рамкой, скользят по контактным пластинам (щеткам).

Предположим, что магнит создает между своими полюсами равномерное магнитное поле, т. е. такое, в котором плотность магнитных силовых линий в любой части поля одинаковая. Вращаясь, рамка пересекает силовые линии магнитного поля, и в каждой из ее сторон *a* и *б* индуцируются ЭДС.

В любой момент времени ЭДС, возникающая в стороне **а**, противоположна по направлению ЭДС, возникающей в стороне **б**. Но в рамке обе ЭДС действуют согласно и в сумме составляют общую ЭДС, т. е. индуктируемую всей рамкой.

При этом с каждым оборотом рамки направление общей ЭДС изменяется в ней на обратное. Ведь каждая из рабочих сторон рамки за один оборот проходит под разными полюсами магнита.

Величина ЭДС, индуктируемой в рамке, также изменяется, так как изменяется скорость, с которой стороны рамки пересекают силовые линии магнитного поля. Действительно, в то время, когда рамка подходит к своему вертикальному положению и проходит его, скорость пересечения силовых линий сторонами рамки бывает наибольшей. При этом в рамке индуктируется наибольшая ЭДС. В те моменты времени, когда рамка проходит свое горизонтальное положение, ее стороны как бы скользят вдоль магнитных силовых линий, не пересекая их, и ЭДС не индуктируется.

Таким образом, при равномерном вращении рамки в ней будет индуктироваться ЭДС, периодически изменяющаяся как по величине, так и по направлению.

Используя явление электромагнитной индукции, можно получить переменную ЭДС и, следовательно, переменный ток.

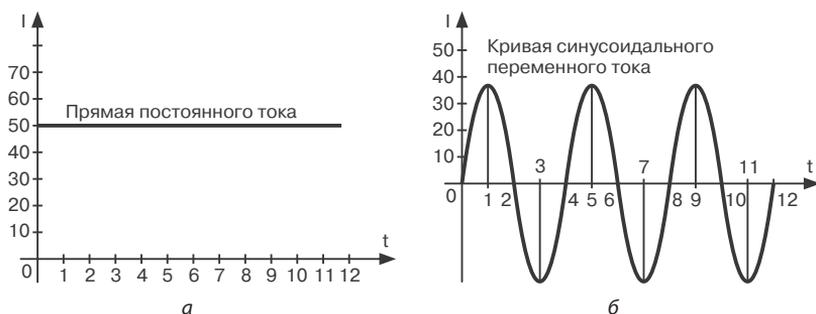
Переменный ток для промышленных целей и для освещения вырабатывается мощными генераторами, приводимыми во вращение паровыми или водяными турбинами и двигателями внутреннего сгорания.

### **Графическое изображение постоянного и переменного токов**

Графический метод дает возможность наглядно представить процесс изменения той или иной переменной величины в зависимости от времени.

Построение графиков переменных величин, меняющихся с течением времени, начинают с построения двух взаимно перпендикулярных линий, называемых осями графика. Затем на горизонтальной оси в определенном масштабе откладывают отрезки времени, а на вертикальной, также в некотором масштабе, — значения той величины, график которой собираются построить (ЭДС, напряжения или тока).

На **рис. 1.3** графически изображены постоянный и переменный токи. В данном случае мы откладываем значения тока. Причем вверх



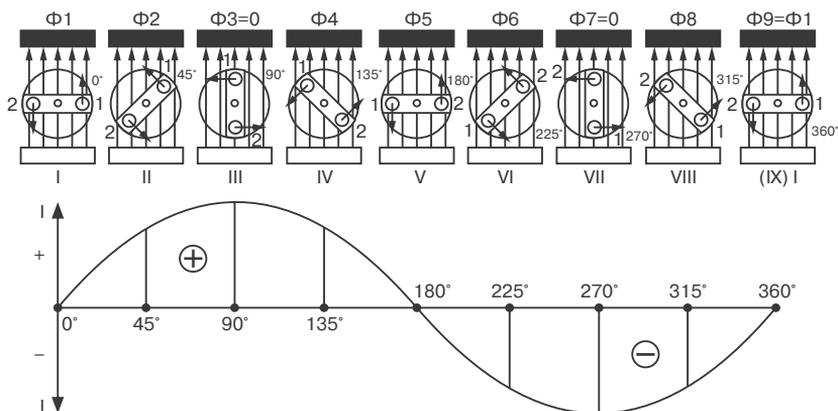
**Рис. 1.3.** Графическое изображение тока:  
а — постоянного тока; б — переменного тока

по вертикали от точки пересечения осей «0» откладываются значения тока одного направления, которое принято называть **положительным**, а вниз от этой точки — противоположного направления, которое принято называть **отрицательным**.

Сама точка «0» служит одновременно началом отсчета значений тока (по вертикали вниз и вверх) и времени (по горизонтали вправо). На рис. 1.3, а показано графическим изображением постоянного тока величиной 50 мА.

### Построение графика переменной ЭДС

На рис. 1.4 в верхней части показана рамка, вращающаяся в магнитном поле, а внизу дано графическое изображение возникающей переменной ЭДС.



**Рис. 1.4.** Построение графика переменной ЭДС

Начнем равномерно вращать рамку по часовой стрелке и проследим за ходом изменения в ней ЭДС, приняв за начальный момент горизонтальное положение рамки.

В этот начальный момент ЭДС будет равна нулю, так как стороны рамки не пересекают магнитных силовых линий. На графике это нулевое значение ЭДС, соответствующее моменту  $t = 0$ , изобразится **точкой 1**.

При дальнейшем вращении рамки в ней начнет появляться ЭДС и будет возрастать по величине до тех пор, пока рамка не достигнет своего вертикального положения. На графике это возрастание ЭДС изобразится плавной поднимающейся вверх кривой, которая достигает своей вершины (**точка 2**).

По мере приближения рамки к горизонтальному положению ЭДС в ней будет убывать и упадет до нуля. На графике это изобразится спадающей плавной кривой.

Следовательно, за время, соответствующее половине оборота рамки, ЭДС в ней успела возрасти от нуля до наибольшей величины и вновь уменьшится до нуля (**точка 3**).

При дальнейшем вращении рамки в ней вновь возникнет ЭДС и будет постепенно возрастать по величине, однако направление ее уже изменится на обратное.

График учитывает изменение направления ЭДС тем, что кривая, изображающая ЭДС, пересекает ось времени и располагается теперь ниже этой оси. ЭДС возрастает опять-таки до тех пор, пока рамка не займет вертикальное положение. Затем начнется убывание ЭДС, и величина ее станет равной нулю, когда рамка вернется в свое первоначальное положение, совершив один полный оборот. На графике это выразится тем, что кривая ЭДС, достигнув в обратном направлении своей вершины (**точка 4**), встретится затем с осью времени (**точка 5**).

На этом заканчивается один цикл изменения ЭДС. Но если продолжать вращение рамки, то начинается второй цикл, в точности повторяющий первый. За ним, в свою очередь, последует третий. И так до тех пор, пока мы не остановим вращение рамки.



#### **Сделаем вывод.**

*За каждый оборот рамки ЭДС, возникающая в ней, совершает полный цикл своего изменения.*

Полученная нами волнообразная кривая называется **синусоидой**, а ток, ЭДС или напряжение, изменяющиеся по такому закону, называются **синусоидальными**.

Сама кривая названа синусоидой потому, что она является графическим изображением переменной тригонометрической величины, называемой синусом.



#### Это интересно знать.

*Синусоидальный характер изменения тока — самый распространенный в электротехнике, поэтому, говоря о переменном токе, в большинстве случаев имеют в виду синусоидальный ток.*

### Параметры переменного тока

Переменный ток характеризуется двумя параметрами — **периодом** и **амплитудой**, зная которые мы можем судить, какой это переменный ток, и построить график тока (рис. 1.5).



#### Это полезно запомнить.

*Промежуток времени, на протяжении которого совершается полный цикл изменения тока, называется **периодом**. Период обозначается буквой **T** и измеряется в секундах. Промежуток времени, на протяжении которого совершается половина полного цикла изменения тока, называется **полупериодом**.*

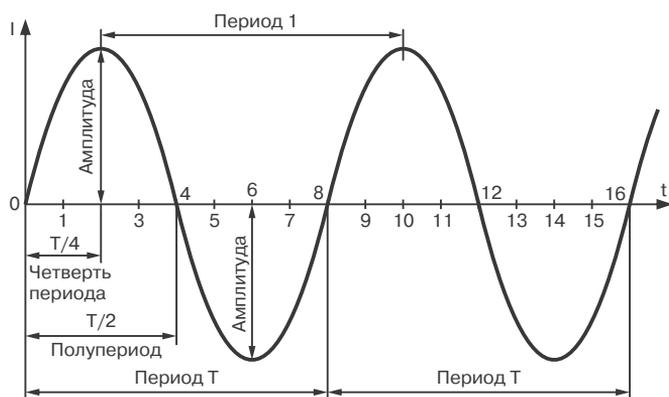


Рис. 1.5. Кривая синусоидального тока

Следовательно, период изменения тока (ЭДС или напряжения) состоит из двух полупериодов. Совершенно очевидно, что все периоды одного и того же переменного тока равны между собой.

Как видно из графика (рис. 1.5), в течение одного периода своего изменения ток достигает дважды максимального значения.



**Это полезно запомнить.**

*Максимальное значение переменного тока (ЭДС или напряжения) называется его **амплитудой** или **амплитудным значением** тока.*

$I_m$ ,  $E_m$  и  $U_m$  — общепринятые обозначения амплитуд тока, ЭДС и напряжения. Мы, прежде всего, обратили внимание на амплитудное значение тока, однако, как это видно из графика, существует бесчисленное множество промежуточных его значений, меньших амплитудного.



**Это полезно запомнить.**

*Значение переменного тока (ЭДС, напряжения), соответствующее любому выбранному моменту времени, называется его **мгновенным значением**.*

$i$ ,  $e$  и  $u$  — общепринятые обозначения мгновенных значений тока, ЭДС и напряжения.

Чтобы определить частоту переменного тока, т. е. узнать, сколько периодов своего изменения ток совершил в течение 1 секунды, необходимо 1 секунду разделить на время одного периода:

$$f = 1/T.$$

Зная частоту переменного тока, можно определить **период**:

$$T = 1/f.$$

Если мы имеем переменный ток, частота изменения которого равна 1 герцу, то период такого тока будет равен 1 секунде. И, наоборот, если период изменения тока равен 1 секунде, то частота такого тока равна 1 герцу.

### **Действующие значения тока и напряжения**

Переменный синусоидальный ток в течение периода имеет различные **мгновенные значения**. Естественно поставить вопрос, какое же значение тока будет измеряться амперметром, включенным в цепь?

При расчетах цепей переменного тока, а также при электрических измерениях неудобно пользоваться мгновенными или амплитудными значениями токов и напряжений, а их средние значения за период равны нулю. Кроме того, об электрическом эффекте периодически изменяющегося тока (о количестве выделенной теплоты, о совершенной работе и т. д.) нельзя судить по амплитуде этого тока.

Наиболее удобным оказалось введение понятий, так называемых **действующих значений тока и напряжения**. В основу этих понятий положено тепловое (или механическое) действие тока, не зависящее от его направления.



**Это полезно запомнить.**

*Действующее значение переменного тока — это значение постоянного тока, при котором за период переменного тока в проводнике выделяется столько же теплоты, сколько и при переменном токе.*

Действующее значение тока определяется из зависимости:

$$I = I_m / \sqrt{2}.$$

Аналогично зависимость между действующим и амплитудным значениями для напряжения  $U$  и  $E$  имеет вид:

$$U = U_m / \sqrt{2};$$

$$E = E_m / \sqrt{2};$$

$$I = I_m / \sqrt{2}.$$

Действующие значения переменных величин обозначаются прописными буквами без индексов ( $I$ ,  $U$ ,  $E$ ).



**Это интересно знать.**

*Электроизмерительные приборы (амперметры, вольтметры), включенные в цепь переменного тока, показывают действующие значения тока или напряжения.*

## 1.4. Какие они, проводники электрического тока

### Понятие об электрическом сопротивлении и проводимости

Любое тело, по которому протекает электрический ток, оказывает ему определенное сопротивление.



#### **Это полезно запомнить.**

*Свойство материала проводника препятствовать прохождению через него электрического тока называется **электрическим сопротивлением**.*

Электронная теория так объясняет сущность электрического сопротивления металлических проводников. Свободные электроны при движении по проводнику бесчисленное количество раз встречаются на своем пути атомы и другие электроны и, взаимодействуя с ними, неизбежно теряют часть своей энергии. Электроны испытывают как бы сопротивление своему движению. Различные металлические проводники, имеющие различное атомное строение, оказывают различное сопротивление электрическому току.

Точно тем же объясняется сопротивление жидких проводников и газов прохождению электрического тока. Однако не следует забывать, что в этих веществах не электроны, а заряженные частицы молекул встречают сопротивление при своем движении.

Сопротивление обозначается латинскими буквами **R** или **r**. За единицу электрического сопротивления принят (Ом). Если, например, электрическое сопротивление проводника составляет 4 Ом, то записывается это так:

$$R = 4 \text{ Ом или } r = 4 \text{ Ом.}$$

Для измерения сопротивлений большой величины принята единица, называемая мегомом. Один мегом равен одному миллиону ом.



#### **Это интересно знать.**

*Чем больше сопротивление проводника, тем хуже он проводит электрический ток, и, наоборот, чем меньше сопротивление проводника, тем легче электрическому току пройти через этот проводник.*

Следовательно, для характеристики проводника (с точки зрения прохождения через него электрического тока) можно рассматривать не только его сопротивление, но и величину, обратную сопротивлению и называемую, **проводимостью**.



**Это полезно запомнить.**

*Электрической проводимостью называется способность материала пропускать через себя электрический ток.*

Так как проводимость есть величина, обратная сопротивлению, то и выражается она как  $1/R$ , обозначается проводимость латинской буквой  $g$ .

### **Влияние материала проводника, его размеров и окружающей температуры на величину электрического сопротивления**

Сопротивление различных проводников зависит от материала, из которого они изготовлены. Для характеристики электрического сопротивления различных материалов введено понятие так называемого удельного сопротивления.



**Это полезно запомнить.**

*Удельным сопротивлением  $\rho$  называется сопротивление проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 мм<sup>2</sup>.*

Удельное сопротивление обозначается буквой греческого алфавита  $\rho$ . Каждый материал, из которого изготавливается проводник, обладает своим удельным сопротивлением.

Например, удельное сопротивление меди равно 0,0175, т. е. медный проводник длиной 1 м и сечением 1 мм<sup>2</sup> обладает сопротивлением 0,0175 Ом. Удельное сопротивление алюминия равно 0,029, удельное сопротивление железа — 0,135, удельное сопротивление нихрома — 1.



**Это интересно знать.**

*Сопротивление проводника прямо пропорционально его длине, т. е. чем длиннее проводник, тем больше его электрическое сопротивление.*

Сопротивление проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения, т. е. чем толще проводник, тем его сопро-

тивление меньше, и, наоборот, чем тоньше проводник, тем его сопротивление больше.

Чтобы лучше понять эту зависимость, представьте себе две пары сообщающихся сосудов, причем у одной пары сосудов соединяющая трубка тонкая, а у другой — толстая. Ясно, что при заполнении водой одного из сосудов (каждой пары) переход жидкости в другой сосуд по толстой трубке произойдет гораздо быстрее, чем по тонкой. Ведь толстая трубка окажет меньшее сопротивление течению воды. Точно так же и электрическому току легче пройти по толстому проводнику, чем по тонкому. Т. е. первый оказывает ему меньшее сопротивление, чем второй.

Электрическое сопротивление проводника равно удельному сопротивлению материала, из которого этот проводник сделан, умноженному на длину проводника и деленному на площадь поперечного сечения проводника:

$$R = \rho l/S,$$

где  $R$  — сопротивление проводника, Ом;

$l$  — длина в проводника в м;

$S$  — площадь поперечного сечения проводника, мм<sup>2</sup>.

Площадь поперечного сечения круглого проводника вычисляется по формуле:

$$S = \pi d^2/4.$$

где  $\pi$  — постоянная величина, равная 3,14;

$d$  — диаметр проводника.

А так определяется длина проводника:

$$l = SR/\rho.$$

Эта формула дает возможность определить длину проводника, его сечение и удельное сопротивление, если известны остальные величины, входящие в формулу.

Если же необходимо определить площадь поперечного сечения проводника, то формулу приводят к следующему виду:

$$S = \rho l/R.$$

Преобразуя ту же формулу и решив равенство относительно  $\rho$ , найдем удельное сопротивление проводника:

$$\rho = RS/l.$$

Последней формулой приходится пользоваться в тех случаях, когда известны сопротивление и размеры проводника, а его материал неизвестен и трудноопределим по внешнему виду. Для этого надо определить удельное сопротивление проводника и, пользуясь справочниками, найти материал, обладающий таким удельным сопротивлением.

Еще одной причиной, влияющей на сопротивление проводников, является температура.



**Это интересно знать.**

*Установлено, что с повышением температуры сопротивление металлических проводников возрастает, а с понижением уменьшается.*

Это увеличение или уменьшение сопротивления для проводников из чистых металлов почти одинаково и в среднем равно 0,4% на 1 °С. Сопротивление жидких проводников и угля с увеличением температуры уменьшается.

Электронная теория строения вещества дает следующее **объяснение увеличению сопротивления** металлических проводников с повышением температуры. При нагревании проводник получает тепловую энергию, которая неизбежно передается всем атомам вещества, в результате чего возрастает интенсивность их движения.

Возросшее движение атомов создает большее сопротивление направленному движению свободных электронов, отчего и возрастает сопротивление проводника. С понижением же температуры создаются лучшие условия для направленного движения электронов, и сопротивление проводника уменьшается. Этим объясняется интересное явление — **сверхпроводимость металлов**.

**Сверхпроводимость**, т. е. уменьшение сопротивления металлов до нуля, наступает при огромной отрицательной температуре  $-273$  °С, называемой **абсолютным нулем**. При температуре абсолютного нуля атомы металла как бы застывают на месте, совершенно не препятствуя движению электронов.

Удельное сопротивление металлов при нагревании увеличивается в результате увеличения скорости движения атомов в материале проводника с возрастанием температуры. Удельное сопротивление электролитов и угля при нагревании, наоборот, уменьшается, так как у этих материалов, кроме увеличения скорости движения атомов и молекул, возрастает число свободных электронов и ионов в единице объема.

Некоторые сплавы, обладающие большим удельным сопротивлением, чем составляющие их металлы, почти не меняют удельного сопротивления с нагревом (константан, манганин и др.).



**Это полезно запомнить.**

*Величина, показывающая относительное увеличение сопротивления при нагреве материала на 1° (или уменьшение при охлаждении на 1°), называется **температурным коэффициентом сопротивления**.*

Если температурный коэффициент обозначить через  $\alpha$ , удельное сопротивление при  $t_0 = 20^\circ\text{C}$  через  $\rho_0$ , то при нагреве материала до температуры  $t_1$  его удельное сопротивление:

$$\rho_1 = \rho_0 + \alpha\rho_0(t_1 - t_0) = \rho_0(1 + (\alpha(t_1 - t_0)))$$

и соответственно

$$R_1 = R_0(1 + (\alpha(t_1 - t_0))).$$

Температурный коэффициент  $\alpha$  для меди, алюминия, вольфрама равен  $0,004 \text{ град}^{-1}$ . Поэтому при нагреве на  $100^\circ\text{C}$  их сопротивление возрастает на 40%. Для железа  $\alpha = 0,006 \text{ град}^{-1}$ , для латуни  $\alpha = 0,002 \text{ град}^{-1}$ , для никрома  $\alpha = 0,0002 \text{ град}^{-1}$ , для константана  $\alpha = 0,00001 \text{ град}^{-1}$ .



**Это интересно знать.**

*Уголь и электролиты имеют отрицательный температурный коэффициент сопротивления.*

Температурный коэффициент для большинства электролитов равен примерно  $0,02 \text{ град}^{-1}$ .

Свойство проводников изменять свое сопротивление в зависимости от температуры используется в **термометрах сопротивления**. Измеряя сопротивление, определяют расчетным путем окружающую температуру. Константан, манганин и другие сплавы, имеющие очень небольшой температурный коэффициент сопротивления, применяют для изготовления шунтов и добавочных сопротивлений к измерительным приборам.

**Задача 1.** Как изменится сопротивление  $R_0$  железной проволоки при нагреве ее на  $520^\circ\text{C}$ ?

Температурный коэффициент  $\alpha$  железа 0,006 1/град. По формуле

$$R_1 = R_0 + R_0\alpha(t_1 - t_0) = R_0 + R_0 \times 0,006(520 - 20) = 4R_0,$$

то есть сопротивление железной проволоки при нагреве ее на 520 °С возрастет в 4 раза.

**Задача 2.** *Алюминиевые провода при температуре -20 °С имеют сопротивление 5 Ом. Необходимо определить их сопротивление при температуре 30 °С.*

Решение  $R_2 = R_1 - \alpha R_1(t_2 - t_1) = 5 + 0,004 \times 5(30 - (-20)) = 6$  Ом.



**Это интересно знать.**

*Свойство материалов изменять свое электрическое сопротивление при нагреве или охлаждении используется для измерения температур.*

## 1.5. О чем говорит основной закон электротехники

По-видимому, наиболее важным законом в электротехнике является **закон Ома**. Этот закон отражает связь, которая существует между током, напряжением и сопротивлением в электрической или электронной цепи. Источник напряжения подключается к сопротивлению, что вызывает протекание через него тока. Величина тока определяется величиной приложенного напряжения и величиной сопротивления.



**Закон Ома.**

*На участке цепи ток прямо пропорционален напряжению и обратно пропорционален сопротивлению.*

Эта связь выражается формулой:

$$I = U/R.$$

Основная формула закона Ома может быть преобразована алгебраически, так что можно определять или напряжение, или сопротивление:

$$U = I \cdot R \text{ или } R = U/I.$$

Для выполнения расчетов в соответствии с законом Ома необходимо знать две величины из трех. Величины тока, напряжения

и сопротивления могут быть получены различными способами. Величины сопротивления резисторов могут определяться по их маркировки на корпусе или цветовому коду или фактическим измерением сопротивления резистора. Ток обычно определяется путем измерения. Величину напряжения часто бывает легко определить, поскольку напряжение подается от источника питания, выходное напряжение которого фиксировано и известно. Если напряжение неизвестно, оно может быть, тем не менее, измерено.

## 1.6. Соединим резисторы последовательно и параллельно

### Последовательное соединение резисторов

Возьмем три постоянных резистора  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  и включим их в цепь так, чтобы конец первого резистора  $R_1$  был соединен с началом второго резистора  $R_2$ , конец второго — с началом третьего  $R_3$ , а к началу первого резистора и к концу третьего подведем проводники от источника тока (рис. 1.6).

Такое соединение резисторов называется **последовательным**. Очевидно, что ток в такой цепи будет во всех ее точках один и тот же.

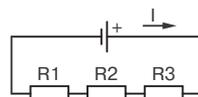


Рис. 1.6.  
Последовательное  
соединение  
сопротивлений



#### Есть такое правило.

При последовательном соединении резисторов общее сопротивление всей цепи равно сумме сопротивлений отдельных участков:  
 $R = R_1 + R_2 + R_3$ .

Проверим это правило на **примере**. Возьмем три постоянных резистора, величины которых известны (например,  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 20$  Ом и  $R_3 = 50$  Ом). Соединим их последовательно (рис. 1.7) и подключим к источнику тока, ЭДС которого равна 60 В (внутренним сопротивлением источника тока пренебрегаем).

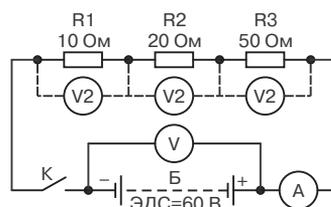


Рис. 1.7. Пример  
последовательного соединения  
трех резисторов

Подсчитаем, какие показания должны дать приборы, включенные, как показано на схеме, если замкнуть цепь. Определим внешнее сопротивление цепи:

$$R = 10 + 20 + 50 = 80 \text{ Ом.}$$

Найдем ток в цепи по закону Ома:  $60/80 = 0,75 \text{ А}$ .

Зная ток в цепи и сопротивления ее участков, определим падение напряжения на каждом участке цепи:

$$U_1 = 0,75 \times 10 = 7,5 \text{ В, } U_2 = 0,75 \times 20 = 15 \text{ В, } U_3 = 0,75 \times 50 = 37,5 \text{ В.}$$

Зная падение напряжений на участках, определим общее падение напряжения во внешней цепи, т. е. напряжение на зажимах источника тока:

$$U = 7,5 + 15 + 37,5 = 60 \text{ В.}$$

Мы получили результат  $U = 60 \text{ В}$ , т. е. несуществующее равенство ЭДС источника тока и его напряжения. Объясняется это тем, что мы пренебрегли внутренним сопротивлением источника тока.

Замкнув теперь ключ выключатель К, можно убедиться по приборам, что наши подсчеты примерно верны.

### Параллельное соединение резисторов

Возьмем два постоянных резистора  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 1.8) и соединим их так, чтобы начала этих резисторов были включены в одну общую точку *a*, а концы — в другую общую точку *б*. Соединив затем точки *a* и *б* с источником тока, получим замкнутую электрическую цепь. Такое соединение резисторов называется **параллельным соединением**.

Проследим течение тока в этой цепи. От положительного полюса источника тока по соединительному проводнику ток дойдет до точки *a*. В точке *a* он разветвится, так как здесь сама цепь разветвляется на две отдельные ветви:

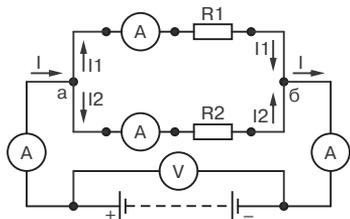


Рис. 1.8. Параллельное соединение резисторов

- ♦ первую ветвь с сопротивлением  $R_1$ ;
- ♦ вторую — с сопротивлением  $R_2$ .

Обозначим токи в этих ветвях соответственно через  $I_1$  и  $I_2$ . Каждый из этих токов пойдет по своей ветви до точки *б*. В этой точке произойдет слияние токов в один общий ток, который и придет к отрицательному полюсу источника тока.

Таким образом, при параллельном соединении сопротивлений получается разветвленная цепь. Посмотрим, какое же будет соотношение между токами в составленной нами цепи.

Включим амперметр между положительным полюсом источника тока (+) и точкой *a* (рис. 1.8) и заметим его показания. Включив затем амперметр (показанный на рис. 1.8 пунктиром) в провод, соединяющий точку *b* с отрицательным полюсом источника тока (-), заметим, что прибор покажет ту же величину силы тока.

Значит, сила тока в цепи до ее разветвления (до точки *a*) равна силе тока после разветвления цепи (после точки *b*).

Будем теперь включать амперметр поочередно в каждую ветвь цепи, запоминая показания прибора. Пусть в первой ветви амперметр покажет силу тока  $I_1$ , а во второй —  $I_2$ . Сложив эти два показания амперметра, мы получим суммарный ток, по величине равный току  $I$  до разветвления (до точки *a*).



**Сделаем вывод.**

*Следовательно, сила тока, протекающего до точки разветвления, равна сумме сил токов, утекающих от этой точки.*

Выражая это формулой, получим:

$$I = I_1 + I_2.$$

Это соотношение, имеющее большое практическое значение, носит название **закона разветвленной цепи**. Очевидно, что напряжение в такой цепи будет во всех ее точках один и тот же.

Рассмотрим теперь, каково будет соотношение между токами в ветвях.

Включим между точками *a* и *b* вольтметр и посмотрим, что он нам покажет. **Во-первых**, вольтметр покажет напряжение источника тока, так как он подключен, как это видно из рис. 1.8, непосредственно к зажимам источника тока. **Во-вторых**, вольтметр покажет падения напряжений  $U_1$  и  $U_2$  на сопротивлениях  $R_1$  и  $R_2$ , так как он соединен с началом и концом каждого сопротивления.

Следовательно, при параллельном соединении сопротивлений напряжение на зажимах источника тока равно падению напряжения на каждом сопротивлении:

$$U = U_1 = U_2,$$

где  $U$  — напряжение на зажимах источника тока;

$U_1$  — падение напряжения на сопротивлении  $R_1$ ;

$U_2$  — падение напряжения на сопротивлении  $R_2$ .

Падение напряжения на участке цепи численно равно произведению силы тока, протекающего через этот участок, на сопротивление участка  $U = IR$ .

Поэтому для каждой ветви можно написать:  $U_1 = I_1R_1$  и  $U_2 = I_2R_2$ , но так как  $U_1 = U_2$ , то и  $I_1R_1 = I_2R_2$ .

Применяя к этому выражению правило пропорции, получим:

$$I_1/I_2 = U_2/U_1.$$

Т. е. ток в первой ветви будет во столько раз больше (или меньше) тока во второй ветви, во сколько раз сопротивление первой ветви меньше (или больше) сопротивления второй ветви.



#### Сделаем вывод.

*Итак, мы пришли к важному выводу, заключающемуся в том, что при параллельном соединении сопротивлений общий ток цепи разветвляется на токи, обратно пропорциональные величинам сопротивлений параллельных ветвей. Иначе говоря, чем больше сопротивление ветви, тем меньший ток потечет через нее, и, наоборот, чем меньше сопротивление ветви, тем больший ток потечет через эту ветвь.*

Убедимся в правильности этой зависимости на следующем примере. Для примера соберем схему, состоящую из двух параллельно соединенных сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , подключенных к источнику тока. Пусть  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 20$  Ом и  $U = 3$  В.

Подсчитаем сначала, что покажет нам амперметр, включенный в каждую ветвь:

$$I_1 = U/R_1 = 3/10 = 0,3 \text{ A} = 300 \text{ mA};$$

$$I_2 = U/R_2 = 3/20 = 0,15 \text{ A} = 150 \text{ mA}.$$

Общий ток в цепи  $I = I_1 + I_2 = 300 + 150 = 450$  мА

Проделанный нами расчет подтверждает, что при параллельном соединении сопротивлений ток в цепи разветвляется обратно пропорционально сопротивлениям.

Действительно,  $R_1 = 10$  Ом вдвое меньше  $R_2 = 20$  Ом, при этом  $I_1 = 300$  мА вдвое больше  $I_2 = 150$  мА. Общий ток в цепи  $I = 450$  мА разветвился на две части так:

- ♦ **большая часть** ( $I_1 = 300$  мА) пошла через меньшее сопротивление ( $R_1 = 10$  Ом);
- ♦ **меньшая часть** ( $I_2 = 150$  мА) — через большее сопротивление ( $R_2 = 20$  Ом).

Рассмотрим теперь, чему будет равно **общее сопротивление внешней цепи**, состоящей из двух параллельно соединенных резисторов. Под этим общим сопротивлением внешней цепи надо понимать такое сопротивление, которым можно было бы заменить при данном напряжении цепи оба параллельно включенных сопротивления, не изменяя при этом тока до разветвления. Такое сопротивление называется **эквивалентным сопротивлением**.

Вернемся к цепи, показанной на **рис. 1.8**, и посмотрим, чему будет равно эквивалентное сопротивление двух параллельно соединенных сопротивлений.

Для каждой ветви  $I_1 = U/R_1$ ,  $I_2 = U/R_2$ . По закону разветвленной цепи:  $I = I_1 + I_2$ . Подставляя значения токов, получим  $U/R = U/R_1 + U/R_2$ .

Так как при параллельном соединении  $U = U_1 = U_2$ , то можем написать:

$$U/R = U/R_1 + U/R_2.$$

Вынеся  $U$  в правой части равенства за скобки, получим

$$U/R = U (1/R_1 + 1/R_2).$$

Разделив теперь обе части равенства на  $U$ , будем окончательно иметь:

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2.$$



#### **Сделаем вывод.**

*На основании этой формулы делаем вывод: при параллельном соединении проводимость внешней цепи равна сумме проводимостей отдельных ветвей. Следовательно, чтобы определить эквивалентное сопротивление включенных параллельно сопротивлений, надо определить проводимость цепи и взять величину, ей обратную.*



#### **Это интересно знать.**

*Из формулы также следует, что проводимость цепи больше проводимости каждой ветви, а это значит, что эквивалентное сопротивление внешней цепи меньше наименьшего из включенных параллельно сопротивлений.*

Рассматривая случай параллельного соединения сопротивлений, мы взяли наиболее простую цепь, состоящую из двух ветвей. Однако на практике могут встретиться случаи, когда цепь состоит из трех и более параллельных ветвей. Как же поступать в этих случаях?

Оказывается, все полученные нами соотношения остаются справедливыми и для цепи, состоящей из любого числа параллельно соединенных сопротивлений.

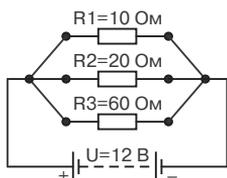


Рис. 1.9. Цепь  
с тремя параллельно  
соединенными  
сопротивлениями

Чтобы убедиться в этом, рассмотрим следующий пример. Возьмем три резистора  $R_1 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 20 \text{ Ом}$  и  $R_3 = 60 \text{ Ом}$  и соединим их параллельно. Определим эквивалентное сопротивление цепи (рис. 1.9).

Применяя для этой цепи формулу

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

и, подставляя известные величины, получим

$$1/R = 1/10 + 1/20 + 1/60$$

Сложим эта дроби:  $1/R = 10/60 = 1/6$ , т. е. проводимость цепи  $1/R = 1/6 = > R = 6$ .

Следовательно, эквивалентное сопротивление  $R = 6 \text{ Ом}$ .

Таким образом, эквивалентное сопротивление меньше наименьшего из включенных параллельно в цепь сопротивлений, т. е. меньше сопротивления  $R_1$ .

Посмотрим теперь, действительно ли это сопротивление является эквивалентным, т. е. таким, которое могло бы заменить включенные параллельно сопротивления в 10, 20 и 60 Ом, не изменяя при этом силы тока до разветвления цепи.

Допустим, что напряжение внешней цепи, а, следовательно, и напряжение на резисторах  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  равно 12 В. Тогда сила токов в ветвях будет:

$$I_1 = U/R_1 = 12/10 = 1,2 \text{ А};$$

$$I_2 = U/R_2 = 12/20 = 0,6 \text{ А};$$

$$I_3 = U/R_3 = 12/60 = 0,2 \text{ А}.$$

Общий ток в цепи получим, пользуясь формулой:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 1,2 + 0,6 + 0,2 = 2 \text{ А}.$$

Проверим по формуле закона Ома, получится ли в цепи ток силой 2 А, если вместо трех параллельно включенных известных нам сопротивлений включено одно эквивалентное им сопротивление 6 Ом.

$$I = U/R = 12/6 = 2 \text{ А.}$$

Как видим, найденное нами сопротивление  $R = 6$  Ом действительно является для данной цепи эквивалентным.

В этом можно убедиться и на измерительных приборах, если собрать схему с взятыми нами резисторами, измерить ток во внешней цепи (до разветвления), затем заменить параллельно включенные сопротивления одним сопротивлением 6 Ом и снова измерить ток. Показания амперметра и в том и в другом случае будут примерно одинаковыми.

Рассчитать эквивалентное сопротивление для двух параллельно включенных сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  можно по формуле:

$$R = R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2).$$

## 1.7. Как найти электрическую работу и мощность

### Работа источника ЭДС

В источнике ЭДС под действием химических сил (в первичных элементах и аккумуляторах) или электромагнитных в электрических генераторах происходит разделение зарядов.

Работа, которая совершается сторонними силами в источнике при перемещении заряда  $Q$  или, как принято говорить, «выработанная» в источнике электрическая энергия, находится по формуле:

$$A = QE.$$

Если источник замкнут на внешнюю цепь, то в нем непрерывно происходит разделение зарядов, причем сторонние силы по-прежнему совершают работу  $A = QE$ , или, имея в виду, что  $Q = It$ ,  $A = EIt$ .

По закону сохранения энергии электрическая энергия, выработанная в источнике ЭДС, за то же время «расходуется» (т. е. преобразуется) в другие виды энергии в участках электрической цепи.

Часть энергии затрачивается во внешнем участке:

$$A_1 = UQ = UIt,$$

где  $U$  — напряжение на зажимах источника, которое при замкнутой внешней цепи уже не равно ЭДС.

Другая часть энергии «теряется» (преобразуется, в тепло) внутри источника:

$$A_2 = A - A_1 = (E - U)It = U_0It.$$

где  $U_0$  — это разность ЭДС и напряжения на зажимах источника, которая называется **внутренним падением напряжения**.

Таким образом,  $U_0 = E - U$ , откуда  $E = U + U_0$ .



**Сделаем вывод.**

*ЭДС источника равна сумме напряжения на зажимах и внутреннего падения напряжения.*

### Электрическая мощность



**Это полезно запомнить.**

*Величина, характеризующая скорость, с которой происходит преобразование энергии, или скорость, с которой совершается работа, называется **мощностью** (обозначение  $P$ ).*

$$P = A/t.$$

Величина, характеризующая скорость, с которой механическая или другая энергия преобразуется в источнике в электрическую, называется **мощностью генератора**:

$$P_r = A/t = EIt/t = EI.$$

Величина, характеризующая скорость, с которой происходит преобразование электрической энергии во внешних участках цепи в другие виды энергии, называется **мощностью потребителя**:

$$P_1 = A_1/t = UIt/t = UI.$$

Мощность, характеризующая непроизводительный расход электрической энергии, например, на тепловые потери внутри генератора, называется **мощностью потерь**:

$$P_0 = (A - A_1)/t = U_0It/t = U_0I.$$

По закону сохранения энергии мощность генератора равна сумме мощностей потребителей и потерь:  $P_r = P_1 + P_0$ .

### Единицы измерения работы и мощности

Единица измерения мощности находится из формулы  $P = A/t$  и обозначается Дж/с (джоуль/секунду).

Единица измерения мощности Дж/с называется ватт (обозначение Вт), т. е.  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$ .

С другой стороны, из  $A = QE$  следует, что  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ К} \times 1 \text{ В}$ , откуда

$$1 \text{ Вт} = (1 \text{ В} \times 1 \text{ К})/1 \text{ с} = 1 \text{ В} \times 1 \text{ А} = 1 \text{ ВА},$$

т. е. 1 ватт есть мощность электрического тока в 1 А при напряжении 1 В.

Более крупными единицами мощности являются:

- ♦ гектоватт  $1 \text{ гВт} = 100 \text{ Вт}$ ;
- ♦ киловатт —  $1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}$ .

Электрическая энергия подсчитывается обыкновенно в: ватт-часах (Вт-ч) или кратных единицах: гектоватт-часах (гВт-ч) и киловатт-часах (кВт-ч).

## 1.8. Почему провод нагревается электрическим током?

### Процесс преобразования электрической энергии в тепловую

При прохождении по проводу электрического тока происходит преобразование электрической энергии в тепловую. Скорость процесса преобразования электрической энергии в тепловую характеризуется мощностью  $P = UI$ .

Количество тепла, выделяемого током  $a$  проводнике, пропорционально квадрату тока, сопротивлению проводника и времени прохождения тока (закон Джоуля-Ленца):

$$Q = I^2rt.$$

Преобразование электрической энергии в тепловую имеет большое практическое значение для создания ламп накаливания, нагревательных приборов и электрических печей. Однако выделение тепла в проводах и обмотках электрических машин, трансформаторов, измерительных и других приборов не только бесполезная трата электрической энергии, но и процесс, который может принести к недопустимо высокому повышению температуры и к порче изоляции проводов и даже самих устройств.

### Процесс нагревания провода

Количество тепла, выделяющегося в проводе, пропорционально объему провода и приращению температуры, а скорость отдачи тепла в окружающее пространство пропорциональна разности температур провода и окружающей среды.

В первое время после включения цепи разность температур провода и окружающей среды мала. Только небольшая часть тепла, выделяемого током, рассеивается и окружающую среду, а большая часть тепла остается в проводе и идет на его нагревание. Этим объясняется быстрый рост температуры провода в начальной стадии нагрева.

По мере увеличения температуры провода растет разность температур провода и окружающей среду к увеличивается количество тепла, отдаваемое проводом. В связи с этим рост температуры провода все более замедляется. Наконец, при некоторой температуре устанавливается **тепловое равновесие**: за одинаковое время количество выделяющегося в проводе тепла становится равным рассеиваемому во внешнюю среду.

При дальнейшем прохождении неизменяющегося тока температура провода не изменяется и называется **установившейся температурой**.

Время нагревания до установившейся температуры неодинаково для различных проводников: нить лампы накаливания нагревается за доли секунды, электрическая машина — за несколько часов.

### Допустимый нагрев провода

Нагрев изолированных проводов нельзя допустить выше определенного предела, так как изоляция при сильном перегреве может обуглиться или даже загореться, а перегрев голых проводов ведет к изменению механических свойств (натяжения провода).

Для изолированных проводов нормами установлена предельная температура нагрева 55—100 °С в зависимости от свойств изоляции и условий монтажа.



#### **Это полезно запомнить.**

*Ток, при котором установившаяся температура, соответствует нормам, называется **предельно допустимым** или **номинальным током** провода.*

Значение номинальных токов для различных сечений проводов приводится в специальных **таблицах в ПУЭ** (правила устройства электроустановок) и электротехнических справочниках.



**Это полезно запомнить.**

*Мощность, развиваемая током в проводе, при которой наступает тепловое равновесие и устанавливается допустимая температура, называется **допустимой мощностью рассеивания**.*

Если по проводу проходит ток больше номинального, то провод оказывается «перегруженным». Однако, поскольку установившаяся температура достигается не сразу, кратковременно можно допустить в цепи ток больше номинального (до момента, пока температура провода не достигнет предельного значения). Слишком большая температура провода, как правило, получается при коротком замыкании.

## 1.9. Какие беды несут короткие замыкания

### Из-за чего происходят короткие замыкания

Короткие замыкания в электропроводке чаще всего происходят из-за нарушения изоляции токопроводящих частей в результате механического повреждения, старения, воздействия влаги и агрессивных сред, а также неправильных действий людей.

При возникновении короткого замыкания возрастает сила тока, а количество выделяющейся теплоты, как известно, пропорционально квадрату тока. Так, если при коротком замыкании ток увеличится в 20 раз, то выделяющееся при этом количество тепла возрастет примерно в 400 раз.



**Это полезно запомнить.**

***Короткое замыкание** возникает при соединении двух проводов цепи, присоединенных к разным зажимам (например, в цепях постоянного тока это «+» и «-») источника через очень малое сопротивление, которое сравнимо с сопротивлением самих проводов.*

Ток при коротком замыкании может превысить номинальный ток в цепи во много раз! В таких случаях цепь должна быть разорвана раньше, чем температура проводов достигнет опасных значений.

Для защиты проводов от перегрева и предупреждения воспламенения окружающих предметов в цепь включаются аппараты защиты (например, плавкие предохранители, автоматические выключатели).

### **Причины ухудшения свойств изоляции**

**Тепловое воздействие на изоляцию проводов** резко снижает ее механические и диэлектрические свойства. Например, если проводимость электрокартона (как изоляционного материала) при 20 °С принять за единицу, то при температурах 30, 40 и 50 °С она увеличится в 4, 13 и 37 раз соответственно. Тепловое старение изоляции наиболее часто возникает из-за перегрузки электросетей токами, превышающими длительно допустимые для данного вида и сечений проводников.

Например, для кабелей с бумажной изоляцией срок их службы может быть определен по известному «восьмиградусному правилу»: превышение температуры на каждые 8 °С сокращает срок службы изоляции в 2 раза. Тепловому разрушению подвержены и полимерные изоляционные материалы.

**Воздействие влаги и агрессивных сред на изоляцию проводов** существенно ухудшает ее состояние из-за появления поверхностных токов утечки. От возникающего при этом тепла жидкость испаряется, а на изоляции остаются следы соли. При прекращении испарения ток утечки исчезает.

При неоднократном воздействии влаги процесс повторяется, но из-за повышения концентрации соли проводимость увеличивается настолько, что ток утечки не прекращается даже после окончания испарения. Кроме того, появляются мельчайшие искры. В дальнейшем под действием тока утечки изоляция обугливается, теряет прочность, что может привести к возникновению местного дугового поверхностного разряда, способного воспламенить изоляцию.

## **1.10. Как измерить ток и напряжение**

### **Измерение постоянного тока и напряжения**

Простейшим способом измерения тока и напряжения является непосредственное включение измерительных приборов в цепь (рис. 1.10), возможное при выполнении условий:

- ♦ максимальный предел измерения амперметра (вольтметра) не меньше максимального тока (напряжения) в цепи;
- ♦ сопротивление амперметра  $R_{РА}$  намного меньше, а сопротивление вольтметра  $R_{PV}$  намного больше сопротивления измеряемой цепи  $R$ ;
- ♦ соблюдение полярности включения приборов.

**Амперметр**, предназначенный для измерения тока, включается в разрыв цепи, т. е. последовательно с нагрузкой (рис. 1.10). При неправильном включении амперметра (параллельно нагрузке) из-за малого сопротивления прибора возникнет короткое замыкание и высока вероятность выхода амперметра из строя.

Вольтметр, предназначенный для измерения напряжения, включается параллельно нагрузке (рис. 1.10). При включении прибора последовательно нагрузке из-за очень большого сопротивления изменится режим работы цепи.

Измерение постоянного тока и напряжения чаще всего производится щитовыми приборами магнитоэлектрической, а при измерении высоких напряжений — электростатической и ионной систем. Иногда применяют приборы электромагнитной, электродинамической и ферродинамической систем, они значительно уступают приборам магнитоэлектрической системы в отношении точности, чувствительности, потребляемой мощности, имеют неравномерную шкалу, чувствительны к воздействию внешних магнитных полей.

Для проведения точных измерений все большее применение находят цифровые вольтметры, амперметры и комбинированные приборы, обладающие большим быстродействием и малой погрешностью измерения (0,01—0,1 %).

Для расширения пределов измерения приборов используют преобразователи в виде измерительных шунтов, добавочных сопротивлений, делителей напряжения, измерительных трансформаторов и измерительных усилителей.

### Шунты и добавочные сопротивления

Шунт представляет собой сопротивление, включаемое параллельно измерительному прибору в цепь измеряемого тока. Шунты на токи до 50—100 А обычно устанавливают внутри прибора. Для больших токов применяют **наружные шунты**, имеющие токовые зажимы для включе-

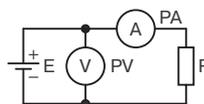


Рис. 1.10. Схема включения вольтметра и амперметра

ния в цепь измеряемого тока и потенциальные зажимы для подключения измерительного прибора.

**Добавочные сопротивления** (включаются последовательно измерительным механизмам) могут быть как внутренние (помещенные в корпус прибора), так и наружные для измерения напряжений свыше 500 В.

Рассмотрим пример расчетного определения шунта и добавочного сопротивления для случая измерительного прибора магнитоэлектрической системы, имеющего катушку с сопротивлением  $R_{и} = 20$  Ом, и рассчитанного на предельный длительный ток 10 мА, при котором подвижная часть прибора получает наибольшее отклонение.

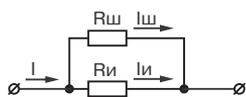


Рис. 1.11. Схема измерительного прибора с шунтом

**Пример использования №1.** Прибор необходимо использовать в качестве амперметра с пределом измерения 5 А. Определить сопротивление шунта, который нужно присоединить к зажимам прибора (рис. 1.11).

Ток в неразветвленной части цепи (измеряемый) равен сумме токов измерительной катушки и шунта:

$$I = I_{ш} + I_{и}.$$

Коэффициент шунтирования  $n$  показывает, во сколько раз измеряемый ток больше тока в измерительной катушке, т. е.

$$n = \frac{I}{I_{и}} = \frac{I_{и} + I_{ш}}{I_{и}}.$$

Но ток в параллельных ветвях (шунт и измерительная катушка) обратно пропорционален сопротивлениям этих ветвей, поэтому

$$n = 1 + \frac{R_{и}}{R_{ш}}, \text{ откуда } R_{ш} = \frac{R_{и}}{n-1}.$$

В условиях данной задачи:

$$n = \frac{I}{I_{и}} = \frac{5}{10 \cdot 10^{-3}} = 500; R_{ш} = \frac{20}{499} = 0,04 \text{ Ом}.$$

**Пример использования №2.** Прибор используют в качестве вольтметра, с пределом измерения напряжения 100 В. Необходимо определить величину добавочного сопротивления, которое нужно последовательно соединить с прибором (рис. 1.12).

Измеряемое напряжение равно сумме напряжений, приходящихся на катушку и на добавочное сопротивление:

$$U = U_d + U_{и}.$$

Коэффициент добавочного сопротивления показывает, во сколько раз измеряемое напряжение больше, чем напряжение на зажимах измерительной катушки, т. е.

$$m = 1 + \frac{U_d}{U_{и}} = 1 + \frac{R_d}{R_{и}}.$$

Напряжение на последовательно соединенных участках (катушка и добавочное сопротивление) распределяется пропорционально сопротивлениям этих участков, поэтому

$$m = \frac{U}{U_{и}} = \frac{U_{и} + U_d}{U_{и}} = 1 + \frac{U_d}{U_{и}}, \text{ откуда } m = 1 + \frac{U_d}{U_{и}} = 1 + \frac{R_d}{R_{и}}.$$

В условиях данной задачи  $U_{и} = I_{и} \cdot R_{и} = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 20 = 0,2 \text{ В}$ .

Коэффициент добавочного сопротивления

$$m = \frac{U}{U_{и}} = \frac{100}{0,2} = 500.$$

Следовательно,  $R_d = R_{и} \cdot (m - 1) = 20 \cdot (500 - 1) = 9980 \text{ Ом}$ .

### Как измерить переменный ток и напряжение

Измерение переменного тока и напряжения может производиться непосредственно измерительными приборами любого принципа действия, за исключением магнитоэлектрического. Магнитоэлектрические приборы могут быть использованы после преобразования переменного тока в постоянный.

При непосредственном включении измерительного прибора должны соблюдаться те же требования, что и при измерении постоянного тока и напряжения.

При непосредственном включении измерительного прибора должны соблюдаться те же требования, что и при измерении постоянного тока и напряжения.

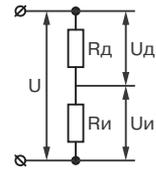


Рис. 1.12. Схема измерительного прибора с добавочным сопротивлением

Для измерения больших переменных токов и напряжений часто используют измерительные трансформаторы тока и напряжения. Трансформаторы напряжения подключают параллельно измеряемой цепи, трансформаторы тока включают последовательно в измерительную цепь.

## 1.11. Знакомьтесь: разветвленные электрические цепи

### Первый закон Кирхгофа

Соотношения между токами и напряжениями в разветвленных электрических цепях устанавливают **Законы Кирхгофа**. Они имеют особое значение в электротехнике из-за своей универсальности, так как пригодны для решения любых электротехнических задач.

**Первый закон Кирхгофа** вытекает из закона сохранения заряда. Он состоит в том, что алгебраическая сумма токов, сходящихся в любом узле, равна нулю.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0,$$

где  $n$  — число токов, сходящихся в данном узле.

Например, для узла электрической цепи (рис. 1.13) уравнение по первому закону Кирхгофа можно записать в виде:

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0.$$

В этом уравнении токи, направленные к узлу, приняты положительными.

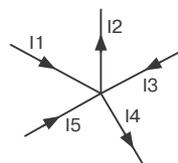


Рис. 1.13. Направления токов для узла электрической цепи

### Второй закон Кирхгофа

Алгебраическая сумма падений напряжений на отдельных участках замкнутого контура, произвольно выделенного в сложной разветвленной цепи, равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре.

$$\sum_{i=1}^k E_i = \sum_{i=1}^m I_i R_i,$$

где  $k$  — число источников ЭДС;  
 $m$  — число ветвей в замкнутом контуре;  
 $I_i, R_i$  — ток и сопротивление  $i$ -й ветви.  
 Так, для замкнутого контура схемы (рис. 1.14):

$$E_1 - E_2 + E_3 = I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 - I_4 R_4.$$

Замечание о знаках полученного уравнения:

- ♦ ЭДС положительна, если ее направление совпадает с направлением произвольно выбранного обхода контура;
- ♦ падение напряжения на резисторе положительно, если направление тока в нем совпадает с направлением обхода.

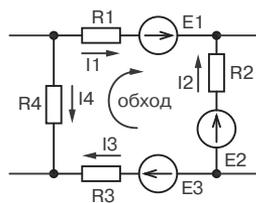


Рис. 1.14. Замкнутый контур электрической цепи

## 1.12. В чем особенность электрического тока в жидкостях и газах

### Электрический ток в жидкостях

В металлическом проводнике электрический ток образуется направленным движением свободных электронов, при этом никаких изменений вещества, из которого проводник сделан, не происходит.

Такие проводники, в которых прохождение электрического тока не сопровождается химическими изменениями их вещества, называются **проводниками первого рода**. К ним относятся все металлы, уголь и ряд других веществ.

Но есть в природе и такие проводники электрического тока, в которых во время прохождения тока происходят химические явления. Эти проводники называются **проводниками второго рода**. К ним относятся главным образом различные растворы в воде кислот, солей и щелочей.

В стеклянный сосуд нальем воды и прибавим в нее несколько капель серной кислоты (или какой-либо другой кислоты или щелочи). Затем возьмем две металлические пластины и присоединим к ним проводники, опустив эти пластины в сосуд. А к другим концам проводников подключим источник тока через выключатель и амперметр. По этой цепи потечет ток.

Кроме того, пластины начнут покрываться пузырьками газа. Затем эти пузырьки будут отрываться от пластин и выходить наружу.

При прохождении по раствору электрического тока происходят химические изменения, в результате которых выделяется газ.

Проводники второго рода называются **электролитами**, а явление, происходящее в электролите при прохождении через него электрического тока, — **электролизом**.

Металлические пластины, опущенные в электролит, называются электродами; одна из них, соединенная с положительным полюсом источника тока, называется **анодом**, а другая, соединенная с отрицательным полюсом, — **катодом**.

Чем же обуславливается прохождение электрического тока в жидком проводнике? Оказывается, в таких растворах (электролитах) молекулы кислоты (щелочи, соли) под действием растворителя (в данном случае воды) распадаются на две составные части, причем одна частица молекулы имеет положительный электрический заряд, а другая отрицательный.



**Это полезно запомнить.**

*Частицы молекулы, обладающие электрическим зарядом, называются **ионами**.*

При растворении в воде кислоты, соли или щелочи в растворе возникает большое количество как положительных, так и отрицательных ионов.

Теперь должно стать понятным, почему через раствор прошел электрический ток. Ведь между электродами, соединенными с источником тока, создана разность потенциалов. Иначе говоря, один из них оказался заряженным положительно, а другой отрицательно.

Под действием этой разности потенциалов положительные ионы начали перемещаться по направлению к отрицательному электроду — катоду, а отрицательные ионы — к аноду.

Таким образом, хаотическое движение ионов стало упорядоченным встречным движением отрицательных ионов в одну сторону и положительных в другую. Этот процесс переноса зарядов и составляет течение электрического тока через электролит и происходит до тех пор, пока имеется разность потенциалов на электродах.

С исчезновением разности потенциалов прекращается ток через электролит, нарушается упорядоченное движение ионов, и вновь наступает хаотическое движение.

В качестве примера рассмотрим явление электролиза при пропускании электрического тока через раствор медного купороса  $\text{CuSO}_4$

с опущенными в него медными электродами (рис. 1.15).

Здесь также будет встречное движение ионов к электродам. Положительным ионом будет ион меди ( $\text{Cu}$ ), а отрицательным — ион кислотного остатка ( $\text{SO}_4$ ). Ионы меди при соприкосновении с катодом будут разряжаться (присоединяя к себе недостающие электроны), т. е. превращаться в нейтральные молекулы чистой меди, и в виде тончайшего (молекулярного) слоя отлагаться на катоде.

Отрицательные ионы, достигнув анода, также разряжаются (отдают излишние электроны). Но при этом они вступают в химическую реакцию с медью анода, в результате чего к кислотному остатку  $\text{SO}_4$  присоединяется молекула меди  $\text{Cu}$  и образуется молекула медного купороса  $\text{CuSO}_4$ , возвращаемая обратно электролиту.

Так как этот химический процесс протекает длительное время, то на катоде отлагается медь, выделяющаяся из электролита. При этом электролит вместо ушедших на катод молекул меди получает новые молекулы меди за счет растворения второго электрода — анода.

Тот же самый процесс происходит, если вместо медных взяты цинковые электроды, а электролитом служит раствор цинкового купороса  $\text{ZnSO}_4$ . Цинк также будет переноситься с анода на катод.

Таким образом, разница между электрическим током в металлах и жидких проводниках заключается в том, что в металлах переносчиками зарядов являются только свободные электроны, т. е. отрицательные заряды, тогда как в электролитах электричество переносится разноименно заряженными частицами вещества — ионами, двигающимися в противоположных направлениях. Поэтому говорят, что электролиты обладают ионной проводимостью.



#### Это интересно знать.

Явление электролиза было открыто в 1837 г. Б. С. Якоби, который производил многочисленные опыты по исследованию и усовершенствованию химических источников тока. Якоби установил, что один из электродов, помещенных в раствор медного купороса, при прохождении через него электрического тока покрывается медью. Это явление, названное **гальванопластикой**, находит сейчас чрез-

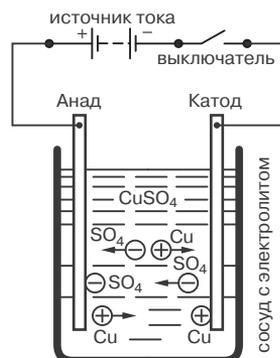


Рис. 1.15. Явление электролиза при прохождении тока через раствор медного купороса

*вычайно большое практическое применение. Одним из примеров тому может служить покрытие металлических предметов тонким слоем других металлов, т. е. никелирование, золочение, серебрение и т. д.*

### Электрический ток в газах

Газы (в том числе и воздух) в обычных условиях не проводят электрический ток. Например, голые провода воздушных линий, будучи подвешены параллельно друг другу, оказываются изолированными один от другого слоем воздуха.

Однако под воздействием высокой температуры, большой разности потенциалов и других причин газы, подобно жидким проводникам, **ионизируются**, т. е. в них появляются в большом количестве частицы молекул газа, которые, являясь переносчиками электричества, способствуют прохождению через газ электрического тока.

Но вместе с тем ионизация газа отличается от ионизации жидкого проводника. Если в жидкости происходит распад молекулы на две заряженные части, то в газах под действием ионизации от каждой молекулы всегда отделяются электроны и остается ион в виде положительно заряженной части молекулы.

Стоит только прекратить ионизацию газа, как он перестанет быть проводящим, тогда как жидкость всегда остается проводником электрического тока. Следовательно, проводимость газа — явление временное, зависящее от действия внешних причин.

Пробой газа происходит в виде искрового разряда, соединяющего поверхности проводящих электродов. Если источник напряжения имеет достаточную мощность, между электродами загорается электрическая дуга (дуговой разряд).

### Дуговой разряд

Явление электрической дуги было открыто в начале 19-го столетия первым русским электротехником В. В. Петровым. Проведя многочисленные опыты, он обнаружил, что между двумя древесными углями, соединенными с источником тока, возникает непрерывный электрический разряд через воздух, сопровождаемый ярким светом. В своих трудах В. В. Петров писал, что при этом «темный покой доста-

точно ярко освещен быть может». Так впервые был получен электрический свет, практически применил который еще один русский ученый-электротехник Павел Николаевич Яблочков.

«Свеча Яблочкова», работа которой основана на использовании электрической дуги, совершила в те времена настоящий переворот в электротехнике.

**Дуговой разряд** применяется как источник света и в наши дни, например, в прожекторах и проекционных аппаратах. Высокая температура дугового разряда позволяет использовать его для устройства дуговой печи. В настоящее время дуговые печи, питаемые током очень большой силы, применяются в ряде областей промышленности: для выплавки стали, чугуна, ферросплавов, бронзы и т. д. А в 1882 году Н. Н. Бенардосом дуговой разряд впервые был использован для резки и сварки металла.

## 1.13. Рассмотрим магнитное поле электрического тока

### Магнитное поле проводника

Магнитное поле создается не только естественными или искусственными постоянными магнитами, но и проводником, если по нему проходит электрический ток. Следовательно, существует связь между магнитными и электрическими явлениями.

Убедиться в том, что вокруг проводника, по которому проходит ток, образуется магнитное поле, нетрудно. Над подвижной магнитной стрелкой параллельно ей поместите прямолинейный проводник и пропустите через него электрический ток. Стрелка займет положение, перпендикулярное проводнику.

Какие же силы могли заставить повернуться магнитную стрелку? Очевидно, силы магнитного поля, возникшего вокруг проводника. Выключите ток, и магнитная стрелка займет свое обычное положение. Это говорит о том, что с выключением тока исчезло и магнитное поле проводника.

Таким образом, проходящий по проводнику электрический ток создает магнитное поле. Чтобы узнать, в какую сторону отклонится магнитная стрелка, применяют правило правой руки.

**Есть такое правило правой руки:**

*Если расположить над проводником правую руку ладонью вниз так, чтобы направление тока совпадало с направлением пальцев, то отогнутый большой палец покажет направление отклонения северного полюса магнитной стрелки, помещенной под проводником.*

Пользуясь этим правилом и зная полярность стрелки, можно определить также направление тока в проводнике.

Магнитное поле прямолинейного проводника имеет форму концентрических кругов. Если расположить над проводником правую руку ладонью вниз так, чтобы ток как бы выходил из пальцев, то отогнутый большой палец укажет на северный полюс магнитной стрелки. Такое поле называется круговым магнитным полем.

Направление силовых линий кругового поля зависит от направления электрического тока в проводнике и определяется так называемым правилом «буравчика».

**Есть такое правило «буравчика»:**

*Если буравчик мысленно ввинчивать по направлению тока, то направление вращения его ручки будет совпадать с направлением магнитных силовых линий поля.*

Применяя это правило, можно узнать направление тока в проводнике, если известно направление силовых линий поля, созданного этим током.

Возвращаясь к опыту с магнитной стрелкой, можно убедиться в том, что она всегда располагается своим северным концом по направлению силовых линий магнитного поля.

Итак, вокруг прямолинейного проводника, по которому проходит электрический ток, возникает магнитное поле. Оно имеет форму концентрических кругов и называется **круговым магнитным полем**.

### Соленоид и его магнитное поле

Магнитное поле возникает вокруг любого проводника независимо от его формы при условии, что по проводнику проходит электрический ток.

В электротехнике мы имеем дело с различного рода катушками, состоящими из ряда витков. Для изучения интересующего нас маг-

нитного поля катушки рассмотрим сначала, какую форму имеет магнитное поле одного витка.

Представим себе виток толстого провода, пронизывающий лист картона и присоединенный к источнику тока. Когда через виток проходит электрический ток, то вокруг каждой отдельной части витка образуется круговое магнитное поле. По правилу «буравчика» нетрудно определить, что магнитные силовые линии внутри витка имеют одинаковое направление (к нам или от нас, в зависимости от направления тока в витке), причем они выходят с одной стороны витка и входят в другую сторону. Ряд таких витков, имеющих форму спирали, представляет собой так называемый **соленоид (катушку)**.

Вокруг соленоида при прохождении через него тока образуется магнитное поле. Оно получается в результате сложения магнитных полей каждого витка и по форме напоминает магнитное поле прямолинейного магнита. Силовые линии магнитного поля соленоида, так же как и в прямолинейном магните, выходят из одного конца соленоида и возвращаются в другой. Внутри соленоида они имеют одинаковое направление. Таким образом, концы соленоида обладают полярностью. Тот конец, из которого выходят силовые линии, является **северным полюсом** соленоида, а конец, в который силовые линии входят, — его **южным полюсом**.

Полюса соленоида можно определить **по правилу правой руки**, но для этого надо знать направление тока в его витках. Если наложить на соленоид правую руку ладонью вниз, так чтобы ток как бы выходил из пальцев, то отогнутый большой палец укажет на северный полюс соленоида.

Из этого правила следует, что полярность соленоида зависит от направления тока в нем. В этом нетрудно убедиться практически, поднеся к одному из полюсов соленоида магнитную стрелку и затем изменив направление тока в соленоиде. Стрелка моментально повернется на  $180^\circ$ , т. е. укажет на то, что полюсы соленоида изменились.



#### **Это интересно знать.**

*Соленоид обладает свойством втягивать в себя легкие железные предметы. Если внутрь соленоида поместить стальной брусок, то через некоторое время под действием магнитного поля соленоида брусок намагнитится. Этот способ применяют при изготовлении постоянных магнитов.*

## 1.14. Какие материалы называются магнитными

### Общая характеристика магнитных материалов

**Магнитными** называются такие материалы, которые под действием внешнего магнитного поля способны намагничиваться, т. е. приобретать **особые магнитные свойства**.

Любое вещество, помещенное в магнитное поле, приобретает некоторый магнитный момент, что обуславливается ориентацией магнитных моментов атомов.

По магнитным свойствам вещества делят на слабомагнитные и сильномагнитные. Последние применяются в электротехнике в качестве магнитных материалов.

К **сильномагнитным** относятся металлы: железо Fe, никель Ni, кобальт Co, кадмий Cd, их соединения и сплавы — ферромагнетики. Кроме того, высокими магнитными свойствами обладают ферриты (оксидные соединения) — ферримагнетики.

Применяемые в электротехнике магнитные материалы подразделяются на магнитомягкие и магнитотвердые.

### Петля магнитного гистерезиса

Зависимость магнитной индукции ферромагнетика от напряженности внешнего магнитного поля называется **кривой намагничивания** (рис. 1.16). Если его намагнитить до насыщения  $B_s$ , а затем снять внешнее поле, то индукция в ноль не обратится, а примет некоторое значение  $B_r$ , называемое **остаточной индукцией**.



**Это полезно запомнить.**

*Магнитным гистерезисом называется явление отставания изменения магнитной индукции от вызывающей эти изменения напряженности магнитного поля.*

Если первоначально материал был полностью размагничен, то по мере возрастания магнитного поля индукция возрастает по **кривой 1-2**. Если затем уменьшать магнитное поле, то уменьшение индукции будет происходить уже вдоль другой **кривой 2-3**.

В **точке 3** внешнее магнитное поле отсутствует, однако индукция имеет некоторое значение  $B_r$ . При увеличении напряженности маг-

нитного поля обратного знака индукция принимает значение равное нулю (точка 4).



**Это полезно запомнить.**

*Напряженность размагничивающего поля  $H_c$ , при которой индукция обращается в ноль, называется коэрцитивной силой.*

Контур 2-3-4-5-6-7-2 называют петлей гистерезиса. Дальнейшее увеличение напряженности магнитного поля приводит к перемагничиванию материала.

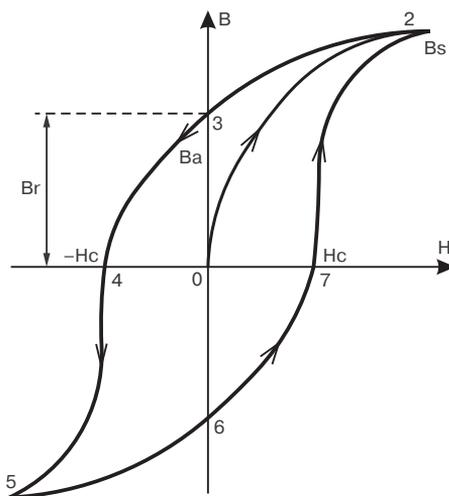


Рис. 1.16. Кривая намагничивания ферромагнитного материала

## Магнитомягкие и магнитотвердые материалы

К магнитомягким относят материалы с малой коэрцитивной силой (узкой петлей гистерезиса) и высокой магнитной проницаемостью. Они обладают способностью намагничиваться до насыщения в слабых магнитных полях.

Используются в основном в качестве различных магнитопроводов: сердечников трансформаторов, дросселей, электромагнитов, электрических машин, электроизмерительных приборов и т. п.

Основным компонентом большинства магнитных материалов является железо. Среди элементарных ферромагнетиков железо обладает наибольшей индукцией насыщения и является типичным магнитомягким материалом, магнитные свойства которого существенно зависят от примесей.

Вследствие низкого удельного сопротивления технически чистое железо используется редко. Основным магнитомягким материалом массового потребления является электротехническая сталь. Легирование стали кремнием (0,7—4,8%) приводит к повышению удельного электрического сопротивления, увеличению магнитной проницаемости и уменьшению коэрцитивной силы  $H_c$ . Содержание кремния выше 5% ухудшает механические свойства стали.

Выпускается в виде листов, рулонов или ленты. Предназначено для изготовления магнитопроводов. На сталь может быть нанесено электроизоляционное покрытие.

**Пермаллои** (железоникелевые сплавы) обладают большой магнитной проницаемостью и очень маленькой коэрцитивной силой  $H_c$ . Применяются для изготовления сердечников малогабаритных силовых и импульсных трансформаторов, реле, измерительных приборах, магнитных усилителях и др. Недостатками пермаллоя является относительно высокая стоимость и сильная зависимость магнитных свойств от механических напряжений.

**Ферриты** (общая формула  $MeOFe_2O_3$ ) состоят из оксидов железа и других металлов. Они являются твердыми и хрупкими материалами, не позволяющими производить обработку резанием, а допускающие только шлифовку и полировку. Основным достоинством ферритов является сочетание высоких магнитных свойств с большим электрическим сопротивлением, что позволяет использовать их в области высоких частот, где высоки потери на вихревые токи.

К **магнитотвердым** относят материалы с большой коэрцитивной силой  $H_c$ . Они перемагничиваются лишь в очень сильных магнитных полях и служат в основном для изготовления постоянных магнитов, а также для записи и длительного хранения информации.

## 1.15. Когда в проводнике возникает электромагнитная индукция

### Возникновение в проводнике ЭДС индукции

Если поместить в магнитное поле проводник и перемещать его так, чтобы он при своем движении пересекал силовые линии поля, то в проводнике возникнет электродвижущая сила, называемая ЭДС индукции.

ЭДС индукции возникнет в проводнике и в том случае, если сам проводник останется неподвижным, а перемещаться будет магнитное поле, пересекая проводник своими силовыми линиями.

Если проводник, в котором наводится ЭДС индукции, замкнуть на какую-либо внешнюю цепь, то под действием этой ЭДС по цепи потечет ток, называемый **индукционным током**.

**Это полезно запомнить.**

*Явление индуктирования ЭДС в проводнике при пересечении его силовыми линиями магнитного поля называется **электромагнитной индукцией**.*

**Это интересно знать.**

***Электромагнитная индукция** — это обратимый процесс, т. е. превращение механической энергии в электрическую.*

Явление электромагнитной индукции нашло широчайшее применение в электротехнике. На использовании его основано устройство различных электрических машин.

### Величина и направление ЭДС индукции

Рассмотрим теперь, каковы будут величина и направление индуктированной в проводнике ЭДС.

**Величина ЭДС индукции** зависит от количества силовых линий поля, пересекающих проводник в единицу времени, т. е. от скорости движения проводника в поле.

Величина индуктированной ЭДС находится в прямой зависимости от скорости движения проводника в магнитном поле.

Величина индуктированной ЭДС зависит также и от длины той части проводника, которая пересекается силовыми линиями поля. Чем большая часть проводника пересекается силовыми линиями поля, тем большая ЭДС индуктируется в проводнике. И, наконец, чем сильнее магнитное поле, т. е. чем больше его индукция, тем большая ЭДС возникает в проводнике, пересекающем это поле.

**Сделаем вывод.**

*Итак, величина ЭДС индукции, возникающей в проводнике при его движении в магнитном поле, прямо пропорциональна индукции магнитного поля, длине проводника и скорости его перемещения.*

Зависимость эта выражается формулой:

$$E = Blv;$$

где  $E$  — ЭДС индукции;  $B$  — магнитная индукция;  $l$  — длина проводника;  $v$  — скорость движения проводника.

**Это интересно знать.**

*Следует твердо помнить, что в проводнике, перемещающемся в магнитном поле, ЭДС индукции возникает только в том случае, если этот проводник пересекается магнитными силовыми линиями поля. Если же проводник перемещается вдоль силовых линий поля, т. е. не пересекает, а как бы скользит по ним, то никакой ЭДС в нем не индуцируется. Поэтому приведенная выше формула справедлива только в том случае, когда проводник перемещается перпендикулярно магнитным силовым линиям поля.*

Направление индуцированной ЭДС (а также и тока в проводнике) зависит от того, в какую сторону движется проводник. Для определения направления индуцированной ЭДС существует **правило правой руки**.

**Есть такое правило правой руки.**

*Если держать ладонь правой руки так, чтобы в нее входили магнитные силовые линии поля, а отогнутый большой палец указывал бы направление движения проводника, то вытянутые четыре пальца укажут направление действия индуцированной ЭДС и направление тока в проводнике.*

### ЭДС индукции в катушке

Мы уже говорили, что для создания в проводнике ЭДС индукции необходимо перемещать в магнитном поле или сам проводник, или магнитное поле. В том и другом случае проводник должен пересекаться магнитными силовыми линиями поля, иначе ЭДС индуцироваться не будет.

Индуктированную ЭДС, а, следовательно, и индукционный ток, можно получить не только в прямолинейном проводнике, но и в проводнике, свитом в катушку. При движении внутри катушки постоянного магнита в ней индуцируется ЭДС за счет того, что магнитный поток магнита пересекает витки катушки, т. е. точно так же, как это было при движении прямолинейного проводника в поле магнита.

Если магнит опускать в катушку медленно, то возникающая в ней ЭДС будет настолько мала, что стрелка прибора может даже не отклониться. Если же, наоборот, магнит быстро ввести в катушку, то отклонение стрелки будет большим.

**Это интересно знать.**

*Значит, величина индуцируемой ЭДС, а, следовательно, и сила тока в катушке зависят от **скорости движения магнита**, т. е. от того, насколько быстро силовые линии поля пересекают витки катушки.*

Если теперь поочередно вводить в катушку с одинаковой скоростью сначала сильный магнит, а затем слабый, то можно заметить, что при сильном магните стрелка прибора будет отклоняться на больший угол. Значит, величина индуцируемой ЭДС, а, следовательно, и сила тока в катушке, зависят от **величины магнитного потока магнита**.

И, наконец, если вводить с одинаковой скоростью один и тот же магнит сначала в катушку с большим числом витков, а затем со значительно меньшим, то в первом случае стрелка прибора отклонится на больший угол, чем во втором. Значит, величина индуцируемой ЭДС, а, следовательно, и сила тока в катушке зависят от **числа ее витков**.

**Это интересно знать.**

*Те же результаты можно получить, если вместо постоянного магнита применять электромагнит.*

Направление ЭДС индукции в катушке зависит от направления перемещения магнита. О том, как определять направление ЭДС индукции, говорит закон, установленный Э. Х. Ленцем.

**Закон Ленца для электромагнитной индукции.**

*Всякое изменение магнитного потока внутри катушки сопровождается возникновением в ней ЭДС индукции, причем, чем быстрее изменяется магнитный поток, пронизывающий катушку, тем большая ЭДС в ней индуцируется.*

Если катушка, в которой создана ЭДС индукции, замкнута на внешнюю цепь, то по виткам ее идет индукционный ток, создающий вокруг проводника магнитное поле, в силу чего катушка превращается в соленоид. Получается, таким образом, что изменяющееся внешнее магнитное поле вызывает в катушке индукционный ток, которой, в свою очередь, создает вокруг катушки свое магнитное поле — поле тока.

Изучая это явление, Э. Х. Ленц установил **закон, определяющий направление индукционного тока в катушке**, а, следовательно, и направление ЭДС индукции.

**Есть такое правило.**

*ЭДС индукции, возникающая в катушке при изменении в ней магнитного потока, создает в катушке ток такого направления, при котором магнитный поток катушки, созданный этим током, препятствует изменению постороннего магнитного потока.*

**Это интересно знать.**

*Закон Ленца справедлив для всех случаев индуктирования тока в проводниках, независимо от формы проводников и от того, каким способом достигается изменение внешнего магнитного поля.*

## 1.16. Полезны или вредны индукционные токи?

### Потери энергии

При каждом цикле перемагничивания часть магнитной энергии теряется, переходя в тепло. Потери энергии складываются из потерь на гистерезис (перемагничивание) и на вихревые токи.

**Потери на вихревые токи** вызываются электрическими токами, которые магнитный поток индуцирует в магнитном материале. Величина токов зависит от электрического сопротивления магнитного материала. Кроме того, они пропорциональны квадрату частоты изменения магнитного поля.

Для работы в переменном магнитном поле используют материалы с узкой петлей гистерезиса, т. е. с очень малой коэрцитивной силой. Для уменьшения потерь на вихревые токи стараются повысить удельное сопротивление магнитного материала.

**Это интересно знать.**

*При нагревании ферромагнетика происходит тепловая дезориентация магнитных моментов и выше некоторой температуры материал теряет магнитные свойства.*

### Индукционные токи в массивных проводниках

Как уже было сказано, изменяющийся магнитный поток способен индуктировать ЭДС не только в витках катушки, но и в массивных металлических проводниках. Пронизывая толщу массивного прово-

дника, магнитный поток индуцирует в нем ЭДС, создающую индукционные токи. Эти так называемые **вихревые токи** распространяются по массивному проводнику и накоротко замыкаются в нем.

Сердечники трансформаторов, магнитопроводы различных электрических машин и аппаратов представляют собой как раз те массивные проводники, которые нагреваются возникающими в них индукционными токами. **Явление это нежелательно**, поэтому для уменьшения величины индукционных токов части электрических машин и сердечники трансформаторов делают не массивными, а состоящими из тонких листов, изолированных один от другого бумагой или слоем изоляционного лака. Благодаря этому преграждается путь распространения вихревых токов по массе проводника.

Но иногда на практике вихревые токи используются и как токи полезные. На использовании этих токов основана, например, работа индукционных нагревательных печей, счетчиков электрической энергии и так называемых магнитных успокоителей подвижных частей электроизмерительных приборов.

## 1.17. Как работает трансформатор

### ЭДС самоиндукции

Изменяющийся по величине ток всегда создает изменяющееся магнитное поле, которое, в свою очередь, всегда индуцирует ЭДС. При всяком изменении тока в катушке (или вообще в проводнике) в ней самой индуцируется ЭДС самоиндукции.

Когда ЭДС в катушке индуцируется за счет изменения собственного магнитного потока, величина этой ЭДС зависит от скорости изменения тока. Чем больше скорость изменения тока, тем больше ЭДС самоиндукции.

Величина ЭДС самоиндукции зависит также от числа витков катушки, густоты их намотки и размеров катушки. Чем больше диаметр катушки, число ее витков и густота намотки, тем больше ЭДС самоиндукции. Эта зависимость ЭДС самоиндукции от скорости изменения тока в катушке, числа ее витков и размеров имеет большое значение в электротехнике.

Направление ЭДС самоиндукции определяется по **закону Ленца**.



#### **Закон Ленца.**

*ЭДС самоиндукции имеет всегда такое направление, при котором она препятствует изменению вызвавшего ее тока.*

Иначе говоря, убывание тока в катушке влечет за собой появление ЭДС самоиндукции, направленной по направлению тока, т. е. препятствующей его убыванию. И, наоборот, при возрастании тока в катушке возникает ЭДС самоиндукции, направленная против тока, т. е. препятствующая его возрастанию.

Не следует забывать, что если ток в катушке не изменяется, то никакой ЭДС самоиндукции не возникает.



#### **Это интересно знать.**

*Явление самоиндукции особенно резко проявляется в цепи, содержащей в себе катушку с магнитопроводом, который значительно увеличивает магнитный поток катушки, а, следовательно, и величину ЭДС самоиндукции при его изменении.*

## **Индуктивность**

Итак, нам известно, что величина ЭДС самоиндукции в катушке, кроме скорости изменения тока в ней, зависит также от размеров катушки и числа ее витков.

Следовательно, различные по своей конструкции катушки при одной и той же скорости изменения тока способны индуцировать в себе различные по величине ЭДС самоиндукции.

Чтобы различать катушки между собой по их способности индуцировать в себе ЭДС самоиндукции, введено понятие **индуктивности катушек**, или **коэффициента самоиндукции**.



#### **Это полезно запомнить.**

*Индуктивность катушки есть величина, характеризующая свойство катушки индуцировать в себе ЭДС самоиндукции.*

Индуктивность данной катушки есть величина постоянная, не зависящая как от силы проходящего по ней тока, так и от скорости его изменения.

**Это полезно запомнить.**

**Генри** — это индуктивность такой катушки (или проводника), в которой при изменении силы тока на 1 ампер в 1 секунду возникает ЭДС самоиндукции в 1 вольт.

**Это интересно знать.**

На практике иногда нужна катушка (или обмотка), не обладающая индуктивностью. В этом случае провод наматывают на катушку, предварительно сложив его вдвойне. Такой способ намотки называется **бифилярным**.

### ЭДС взаимоиנדукции

Итак, мы знаем, что ЭДС индукции в катушке можно вызвать, и не перемещая в ней электромагнит, а изменяя лишь ток в его обмотке. Но что чтобы вызвать ЭДС индукции в одной катушке за счет изменения тока в другой, совершенно не обязательно вставлять одну из них внутрь другой, а можно расположить их рядом.

И в этом случае при изменении тока в одной катушке возникающий переменный магнитный поток будет пронизывать (пересекать) витки другой катушки и вызовет в ней ЭДС (ЭДС взаимоиנדукции).

Взаимоиנדукция дает возможность связывать между собой посредством магнитного поля различные электрические цепи. Такую связь принято называть **индуктивной связью**.

Величина ЭДС взаимоиנדукции зависит, прежде всего, от того, с какой скоростью изменяется ток в первой катушке. Чем быстрее изменится в ней ток, тем создается большая ЭДС взаимоиנדукции.

Кроме того, величина ЭДС взаимоиנדукции зависит от величины индуктивности обеих катушек и от их взаимного расположения, а также от **магнитной проницаемости окружающей среды**.

Следовательно, различные по своей индуктивности и взаимному расположению катушки и в различной среде способны вызывать одна в другой различные по величине ЭДС взаимоиנדукции.

Чтобы иметь возможность различать между собой различные пары катушек по их способности взаимно индуктировать ЭДС, введено понятие о **взаимоиנדуктивности** или **коэффициенте взаимоиנדукции**.

Обозначается взаимоиנדуктивность буквой  $M$ . Единицей ее измерения, так же как и индуктивности, служит генри.



**Это интересно знать.**

**1 Генри** — это такая взаимдуктивность двух катушек, при которой изменение тока в одной катушке на 1 ампер в 1 секунду вызывает в другой катушке ЭДС взаимдукции, равную 1 вольту.

На величину ЭДС взаимдукции влияет магнитная проницаемость окружающей среды. Чем больше магнитная проницаемость среды, по которой замыкается переменный магнитный поток, связывающий катушки, тем сильнее индуктивная связь катушек и больше величина ЭДС взаимдукции.

На явлении взаимдукции основана работа такого важного электротехнического устройства, как трансформатор.

## Трансформатор



**Это полезно запомнить.**

**Трансформатор** — это электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения.

Трансформаторы применяют в источниках питания, для изменения переменного напряжения, для согласования электрических цепей, гальванической развязки электрических цепей. Одна из обмоток трансформатора подключается к источнику переменного тока и называется **первичной**, все остальные обмотки называются **вторичными**.

Низкочастотные трансформаторы подразделяют на силовые (трансформаторы питания) и сигнальные (согласующие). Трансформаторы, преобразующие импульсный сигнал, называют импульсными.

Конструктивно трансформатор состоит из двух и более обмоток, изолированных друг от друга и магнитопровода (рис. 1.17).

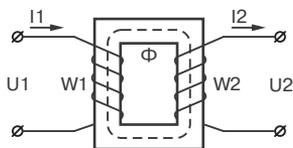


Рис. 1.17. Трансформатор

**Принцип действия трансформатора:** первичный ток  $I_1$  протекая через витки первичной обмотки  $W_1$ , наводит в ней и сердечнике (магнитопроводе) переменное магнитное поле, магнитный поток  $\Phi$  которого пересекает витки вторичной обмотки  $W_2$  и наводит в них переменную ЭДС, возникает напряжение  $U_2$  и ток  $I_2$  при наличии нагрузки.

В зависимости от коэффициента трансформации  $n = U_1/U_2$  различают понижающие ( $n > 1$ ), повышающие ( $n < 1$ ) и согласующие ( $n = 1$ ) трансформаторы.



**Это интересно знать.**

*На практике кроме трансформаторов применяют автотрансформаторы. Они имеют одну обмотку и большое количество выходных отводов или подвижный выходной контакт, перемещающийся по виткам катушки. Это позволяет плавно или небольшими скачками (дискретно) изменять выходное напряжение.*

У автотрансформаторов по сравнению с трансформаторами имеется недостаток — отсутствует электрическое разделение (развязка) первичной и вторичных цепей. Параметры и конструкции автотрансформаторов и трансформаторов аналогичны.

## 1.18. Как устроен и работает электродвигатель постоянного тока

### Что такое электродвигатель постоянного тока



**Это полезно запомнить.**

*Электродвигатель постоянного тока — электромеханическое устройство, преобразующее электрическую энергию постоянного тока в механическую энергию.*

Электродвигатели постоянного тока применяют в тех электроприводах, где требуется большой диапазон регулирования скорости и большая точность поддержания скорости вращения привода.

Работа электрического двигателя постоянного тока основана на явлении электромагнитной индукции. Известно, что на проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует сила, определяемая по правилу левой руки:

$$F = BI l.$$

где  $I$  — ток, протекающий по проводнику;

$B$  — индукция магнитного поля;

$l$  — длина проводника.

При пересечении проводником магнитных силовых линий машины в нем наводится электродвижущая сила, которая по отношению к току в проводнике направлена против него, поэтому она называется обратной или противодействующей (противо-ЭДС).



**Это интересно знать.**

*Электрическая мощность в двигателе преобразуется в механическую и частично тратится на нагревание проводника.*

### Устройство электродвигателя постоянного тока

Электродвигатель постоянного тока состоит из неподвижной части — **станины** и вращающейся части — **якоря**.

**Станина** — полый стальной цилиндр, на внутренней поверхности которого укреплено четное число выступающих **главных полюсов электродвигателя постоянного тока**. Эти полюсы собраны из тонких изолированных друг от друга лаком листов электротехнической стали и заканчиваются расширенной частью — полюсными наконечниками для распределения магнитной индукции в воздушном зазоре по закону, близкому к трапецеидальному.

Линии, проходящие через середины полюсов и центр вала электродвигателя постоянного тока, называют ее **продольными магнитными осями**.

На полюсах расположены одна или несколько **обмоток возбуждения постоянного тока**, которые соединены между собой так, чтобы получить чередующуюся полярность полюсов, возбуждающих основное неподвижное магнитное поле машины.

Обмотки возбуждения с большим числом витков тонкого провода и значительным сопротивлением имеют выводы к зажимам с обозначениями Ш1 и Ш2, а обмотки возбуждения с малым числом витков толстого провода и малым сопротивлением — выводы к зажимам с обозначениями С1 и С2.

Между главными полюсами электродвигателя постоянного тока расположены **добавочные полюсы**, которые меньше главных, и изготовлены массивными из стали. Обычно число добавочных полюсов равно числу главных и только в электродвигателях номинальной мощностью до 2—2,5 кВт число их уменьшено вдвое. На этих полюсах размещена обмотка добавочных полюсов с небольшим числом витков толстого провода, малого сопротивления с выводами к зажимам с обозначениями Д1 и Д2.

В электродвигателях постоянного тока, предназначенных для тяжелого режима работы, полюсные наконечники имеют пазы, параллельные оси вала, где находится **компенсационная обмотка** с небольшим числом витков толстого провода и малым сопротивлением с выводами к зажимам с обозначениями K1 и K2.

Обмотки возбуждения, обмотка добавочных полюсов и компенсационная обмотка выполнены изолированным медным проводом. При проводах значительного сечения обмотку добавочных полюсов выполняют неизолированной медной шиной, навитой спиралью на узкое ребро, с прокладкой изоляции как между витками, так и между ними и самим полюсом.

Мощность на возбуждение магнитного поля электродвигателя постоянного тока в зависимости от ее размеров составляет от 0,5 до 5 % ее номинальной мощности.

Между поверхностями полюсных наконечников и магнитопроводом якоря имеется воздушный зазор, радиальный размер которого в зависимости от номинальной мощности электродвигателя и его быстроходности изменяется обычно от нескольких долей миллиметра до десяти миллиметров.

**Якорь барабанного типа** — зубчатый цилиндр, укрепленный на валу электродвигателя постоянного тока, собранный из пакетов, составленных из тонких изолированных друг от друга лаком листов электротехнической стали с пазами на наружной поверхности. Между пакетами находятся радиальные вентиляционные каналы, а пазы якоря заполнены изолированными медными проводниками, которые по торцам соединены между собой в секции, входящие в обмотку якоря.

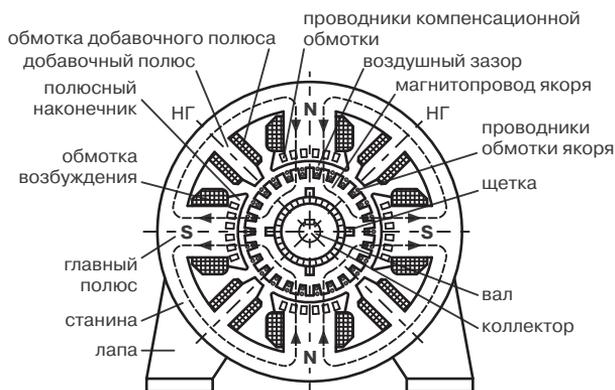


Рис. 1.18. Устройство электродвигателя постоянного тока

**Коллектор** — полый цилиндр из мелких пластин твердотянутой меди трапецеидального сечения, изолированных миканитовыми прокладками и манжетами друг от друга и от вала.

Из технологических соображений обмотку якоря выполняют двухслойной, располагая в каждом пазу его магнитопровода по две стороны различных секций:

- ♦ в верхнем слое одного паза — одну сторону секции, показанную сплошной линией;
- ♦ в нижнем слое другого паза, находящегося под противоположным главным полюсом, — другую сторону этой же секции, изображенную пунктирной линией. Паза, где находятся обе стороны одной и той же секции, смещены относительно друг друга на величину, близкую или равную полюсному делению  $\tau$  — расстоянию по окружности якоря между осями соседних главных полюсов.

Независимо от типа обмотки якоря — петлевой или волновой — она образует замкнутую цепь. Эта цепь разделена группами неподвижных графитных, угольно-графитных, медно-графитных или бронзово-графитных щеток, прижимаемых пружинами к коллектору.



**Это интересно знать.**

*При петлевой, или параллельной, обмотке число параллельных ветвей равно числу главных полюсов электродвигателя, а при волновой, или последовательной, обмотке оно всегда равно двум.*

Группы щеток, укрепленных в щеткодержателях, устанавливают равномерно по окружности коллектора перед серединой главных полюсов. Это сделано для того, чтобы они присоединялись к тем секциям обмотки якоря, которые в данный момент находятся на **геометрических нейтралах якоря**. Эти нейтралы — неподвижные линии, проходящие через центр вала машины по осям добавочных полюсов.

Щеткодержатели укреплены на пальцах поворотной щеточной траверсы, от которой они электрически изолированы.

С помощью траверсы допускается смещать щетки в небольших пределах по окружности коллектора относительно полюсов при настройке работы щеточного аппарата. Совокупность коллектора и щеток создает **скользящий контакт** с вращающейся обмоткой якоря.

Число групп щеток с чередующейся полярностью обычно равно числу главных полюсов электродвигателя постоянного тока. Для обра-

зования выводов обмотки якоря Я1 и Я2 щетки одинаковых полярностей, находящихся перед серединой соответствующих одноименных главных полюсов, соединяют между собой. От них выводят проводники большого сечения или шины к зажимам с обозначениями Я1 и Я2. Последние используют для присоединения к другим обмоткам машины или к внешней цепи.

На валу электродвигателя постоянного тока со стороны, противоположной коллектору, укреплен вентилятор центробежного типа, который обеспечивает лучшее охлаждение машины. Вал лежит в подшипниках, расположенных в подшипниковых щитах электродвигателя.

## 1.19. Как устроен и работает асинхронный электродвигатель

### Принцип действия асинхронного двигателя



**Это полезно запомнить.**

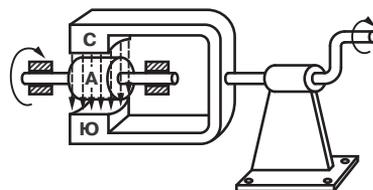
*Электрические машины, преобразующие электрическую энергию переменного тока в механическую энергию, называются **электродвигателями переменного тока**.*

В промышленности наибольшее распространение получили **асинхронные двигатели трехфазного тока**. Рассмотрим устройство и принцип действия этих двигателей.

**Принцип действия асинхронного двигателя основан на использовании вращающегося магнитного поля.**

Для уяснения работы такого двигателя сделаем следующий опыт. Укрепим подковообразный магнит на оси таким образом, чтобы его можно было вращать за ручку (рис. 1.19). Между полюсами магнита расположим на оси медный цилиндр, могущий свободно вращаться.

Начнем вращать магнит за ручку по часовой стрелке. Поле магнита также начнет вращаться. При вращении оно будет пересекать своими силовыми линиями медный цилиндр. В цилиндре, по закону



**Рис. 1.19.** Простейшая модель для получения вращающегося магнитного поля

электромагнитной индукции, возникнут вихревые токи, которые создадут свое собственное магнитное поле — **поле цилиндра**. Это поле будет взаимодействовать с магнитным полем постоянного магнита. В результате цилиндр начнет вращаться в ту же сторону, что и магнит.

Установлено, что скорость вращения цилиндра несколько меньше скорости вращения поля магнита.

Действительно, если цилиндр вращается с той же скоростью, что и магнитное поле, то магнитные силовые линии не пересекают его, а, следовательно, в нем не возникают вихревые токи, вызывающие вращение цилиндра.

**Скорость вращения магнитного поля принято называть синхронной**, так как она равна скорости вращения магнита, а скорость вращения цилиндра — **асинхронной** (несинхронной). Поэтому сам двигатель получил название **асинхронного двигателя**. Скорость вращения цилиндра (ротора) отличается от синхронной скорости вращения магнитного поля на небольшую величину, называемую **скольжением**.

Обозначив скорость вращения ротора через  $n_1$  и скорость вращения поля через  $n$ , мы можем подсчитать **величину скольжения в процентах** по формуле:

$$s = (n - n_1)/n.$$

### Устройство асинхронного электродвигателя Доливо-Добровольского

В приведенном выше опыте (рис. 1.19) вращающееся магнитное поле и вызванное им вращение цилиндра мы получали благодаря вращению постоянного магнита. Поэтому такое устройство еще не является электродвигателем.

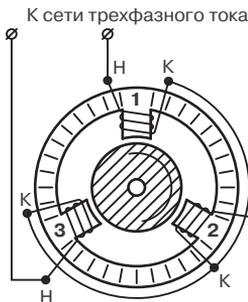


Рис. 1.20. Схема асинхронного электродвигателя Доливо-Добровольского

Надо заставить электрический ток создавать вращающееся магнитное поле и использовать его для вращения ротора. Задачу эту в свое время блестяще разрешил М. О. Доливо-Добровольский. Он предложил использовать для этой цели трехфазный ток.

На рис. 1.20 показана схема асинхронного электродвигателя М. О. Доливо-Добровольского.

На полюсах железного сердечника кольцевой формы, называемого **статором электродвигателя**, помещены три обмотки, расположенные

одна относительно другой под углом  $120^\circ$  и подключенные к сети трехфазного тока.

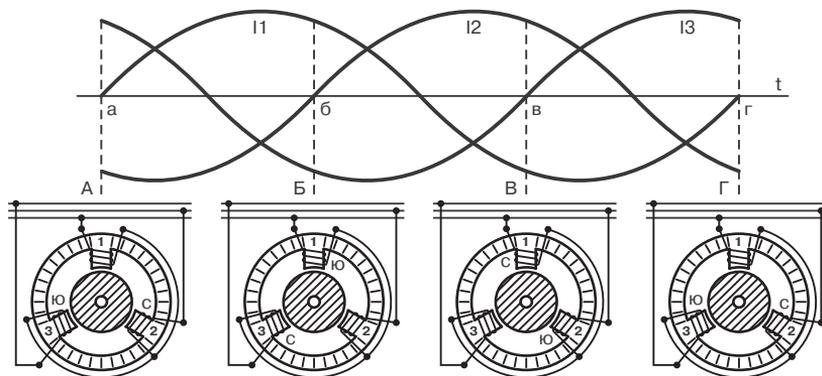
Внутри сердечника укреплен на оси металлический цилиндр, называемый **ротором электродвигателя**.

Если обмотки соединить между собой так, как показано на **рис. 1.20**, и подключить их к сети трехфазного тока, то общий магнитный поток, создаваемый тремя полюсами, окажется вращающимся.

### Вращающееся магнитное поле

На **рис. 1.21** показан график изменения токов в обмотках двигателя и процесс возникновения вращающегося магнитного поля. Рассмотрим — подробнее этот процесс.

В положении «А» на графике ток в первой фазе равен нулю, во второй фазе он отрицателен, а в третьей — положителен. Ток по катушкам полюсов потечет в направлении, указанном на **рис. 1.21** стрелками.



**Рис. 1.21.** Получение вращающегося магнитного поля

Определив по **правилу правой руки** направление созданного током магнитного потока, мы убедимся, что на внутреннем конце полюса (обращенном к ротору) третьей катушки будет создан южный полюс (Ю), а на полюсе второй катушки — северный полюс (С).



#### Это интересно знать.

Суммарный магнитный поток будет направлен от полюса второй катушки через ротор к полюсу третьей катушки.

В положении «Б» на графике ток во второй фазе равен нулю, в первой фазе он положителен, а в третьей отрицателен. Ток, протекая по катушкам полюсов, создает на конце первой катушки южный полюс (Ю), на конце третьей катушки северный полюс (С).



**Это интересно знать.**

*Суммарный магнитный поток теперь будет направлен от третьего полюса через ротор к первому полюсу, т. е. полюсы при этом переместятся на  $120^\circ$ .*

В положении «В» на графике ток в третьей фазе равен нулю, во второй фазе он положителен, а в первой отрицателен. Теперь ток, протекая по первой и второй катушкам, создаст на конце полюса первой катушки — северный полюс (С), а на конце полюса второй катушки — южный полюс (Ю), т. е. полярность суммарного магнитного поля переместится еще на  $120^\circ$ . В положении «Г» на графике магнитное поле переместится еще на  $120^\circ$ .

Таким образом, суммарный магнитный поток будет менять свое направление с изменением направления тока в обмотках статора (полюсов).

При этом за один период изменения тока в обмотках магнитный поток сделает полный оборот. Вращающийся магнитный поток будет увлекать за собой цилиндр, и мы получим, таким образом, **асинхронный электродвигатель**.



**Это интересно знать.**

*На рис. 1.21 обмотки статора соединены «звездой», однако вращающееся магнитное поле образуется и при соединении их «треугольником».*

Если мы поменяем местами обмотки второй и третьей фаз, то магнитный поток изменит направление своего вращения на обратное.

Такого же результата можно добиться, не меняя местами обмотки статора, а направляя ток второй фазы сети в третью фазу статора, а третью фазу сети — во вторую фазу статора.



**Сделаем вывод.**

*Таким образом, изменить направление вращения магнитного поля можно переключением двух любых фаз.*

### Частота вращения асинхронного двигателя

Мы рассмотрели устройство асинхронного двигателя, имеющего на статоре три обмотки. В этом случае вращающееся магнитное поле двухполюсное и число его оборотов в одну секунду равно числу периодов изменения тока в одну секунду.

Если на статоре разместить по окружности шесть обмоток, то будет создано четырехполюсное вращающееся магнитное поле. При девяти обмотках поле будет шестиполюсным.

При частоте трехфазного тока  $f$ , равной 50 периодам в секунду, или 3000 в минуту, число оборотов в минуту  $n$  вращающегося поля будет:

- ♦ при двухполюсном статоре —  $n = (50 \times 60)/1 = 3000$  об/мин;
- ♦ при четырехполюсном статоре —  $n = (50 \times 60)/2 = 1500$  об/мин;
- ♦ при шестиполюсном статоре —  $n = (50 \times 60)/3 = 1000$  об/мин,
- ♦ при числе пар полюсов статора, равном  $p$  —  $n = (f \times 60)/p$ .

Итак, мы установили скорость вращения магнитного поля и зависимость ее от числа обмоток на статоре двигателя.

Ротор же двигателя будет, как нам известно, несколько отставать в своем вращении.

Однако отставание ротора очень небольшое. Так, например, при холостом ходе двигателя разность скоростей составляет всего 3%, а при нагрузке 5—7%.



#### Сделаем вывод.

*Следовательно, обороты асинхронного двигателя при изменении нагрузки изменяются в очень небольших пределах, что является одним из его достоинств.*

## 1.20. Знакомьтесь: электрическое поле и электростатическая индукция

### Понятие об электрическом поле

Известно, что в пространстве, окружающем электрические заряды, действуют силы электрического поля. Многочисленные опыты над заряженными телами полностью подтверждают это. Пространство, окружающее любое заряженное тело, является электрическим полем, в котором действуют электрические силы.

Направление сил поля называют **силовыми линиями электрического поля**. Поэтому условно считают, что электрическое поле есть совокупность силовых линий.

### Силовые линии электрического поля

Силовые линии поля обладают определенными свойствами:

- ♦ силовые линии выходят всегда из положительно заряженного тела, а входят в тело, заряженное отрицательно;
- ♦ они выходят во все стороны перпендикулярно поверхности заряженного тела и перпендикулярно входят в него;
- ♦ силовые линии двух одноименно заряженных тел как бы отталкиваются одна от другой (рис. 1.22, а), а разноименно заряженных — притягиваются (рис. 1.22, б).

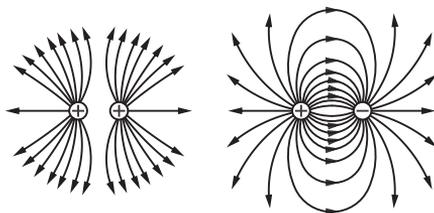


Рис. 1.22. Электростатическое поле двух заряженных тел:  
а — тела заряжены одноименно;  
б — тела заряжены разноименно



#### Это интересно знать.

*Сила притяжения или отталкивания зависит от величины зарядов тел и от расстояния между ними.*

### Диэлектрическая проницаемость

Если в пространстве между телами будет не воздух, а какой-нибудь другой диэлектрик, т. е. непроводник электричества, то сила взаимодействия между телами уменьшится.



#### Это полезно запомнить.

*Величина, характеризующая свойства диэлектрика и показывающая, во сколько раз сила взаимодействия между зарядами увеличится, если данный диэлектрик заменить воздухом, называется **относительной диэлектрической проницаемостью** данного диэлектрика.*

Диэлектрическая проницаемость равна: для воздуха и газов — 1; для эбонита 2—4; для слюды 5—8; для масла 2—5; для бумаги 2—2,5; для парафина 2—2,6.

### Электростатическая индукция

Если проводящему телу А шарообразной формы, изолированному от окружающих предметов, сообщить отрицательный электрический заряд, т. е. создать в нем избыток электронов, то этот заряд равномерно распределится по поверхности тела (рис. 1.23). Так происходит потому, что электроны, отталкиваясь один от другого, стремятся выйти на поверхность тела.

Поместим незаряженное тело Б, также изолированное от окружающих предметов, в поле тела А. Тогда на поверхности тела Б появятся электрические заряды, причем на стороне, обращенной к телу А, образуется заряд, противоположный заряду тела А (положительный), а на другой стороне — заряд, одноименный с зарядом тела А (отрицательный). Электрические заряды, распределяясь таким образом, остаются на поверхности тела Б до тех пор, пока оно находится в поле тела А.

Если тело Б вынести из поля или удалить тело А, то электрический заряд на поверхности тела Б нейтрализуется. Такой способ электризации на расстоянии называется электростатической индукцией или электризацией посредством влияния.

Чем выше будет степень электризации тела А, т. е. чем выше его потенциал, тем до большего потенциала можно наэлектризовать посредством электростатической индукции тело Б.

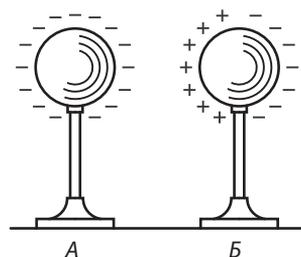


Рис. 1.23. Явление электростатической индукции



#### Сделаем вывод.

Явление электростатической индукции дает возможность при определенных условиях накапливать электричество на поверхности проводящих тел.

## 1.21. Что такое электрическая емкость, и как работают конденсаторы

### Электрическая емкость

Каждое тело можно зарядить до известного предела, т. е. до определенного потенциала; повышение потенциала сверх предельного влечет

за собой разряд тела в окружающую атмосферу. Для разных тел необходимо различное количество электричества, чтобы довести их до одного и того же потенциала. Иначе говоря, различные тела вмещают различное количество электричества, т. е. обладают разной **электрической емкостью** (или просто емкостью).



**Это полезно запомнить.**

*Электрической емкостью называется способность тела вмещать в себе определенное количество электричества, повышая при этом свой потенциал до определенной величины.*

Чем больше поверхность тела, тем больший электрический заряд может вместить в себя это тело. Если тело имеет форму шара, то емкость его находится в прямой зависимости от радиуса шара.

Емкость измеряют фарадами (мили-, микро-, нано-, пикофарадами).



**Это полезно запомнить.**

*1 фарада — емкость такого тела, которое, получив заряд электричества в один кулон, повышает свой потенциал на один вольт.*

**Электрическая емкость**, т. е. свойство проводящих тел накапливать в себе электрический заряд, широко используется в электротехнике. На этом свойстве основано устройство электрических конденсаторов.

### Емкость конденсатора

Конденсатор состоит из двух проводящих пластин (обкладок), изолированных одна от другой прослойкой воздуха или каким-либо другим диэлектриком (слодой, бумагой и т. д.).

Если одной из пластин сообщить положительный заряд, а другой — отрицательный, т. е. противоположно зарядить их, то заряды пластин, взаимно притягиваясь, будут удерживаться на пластинах. Это позволяет сосредоточить на пластинах гораздо большее количество электричества, чем, если бы заряжать их в удалении одна от другой.

Следовательно, **конденсатор** может служить устройством, запасующим на своих обкладках значительное количество электричества. Иначе говоря, конденсатор — это **накопитель электрической энергии**.

Емкость конденсатора равна:

$$C = \epsilon S / 4\pi l,$$

где  $C$  — емкость;

$\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость диэлектрика;

$S$  — площадь одной пластины в  $\text{см}^2$ ;

$\pi$  — постоянное число, равное 3,14;

$l$  — расстояние между пластинами в см.



**Это интересно знать.**

*Из этой формулы видно, что с увеличением площади пластин емкость конденсатора увеличивается, а с увеличением расстояния между ними уменьшается.*

Поясним эту зависимость. Чем больше **площадь пластин**, тем большее количество электричества они способны вместить, а, следовательно, и емкость конденсатора будет большей.

При **уменьшении расстояния** между пластинами возрастает взаимное влияние (индукция) между их зарядами, что позволяет сосредоточить на пластинах большее количество электричества, а, следовательно, увеличить емкость конденсатора.

Таким образом, если мы хотим получить конденсатор большой емкости, мы должны брать пластины большой площади и изолировать их между собой тонким слоем диэлектрика.

Формула показывает также, что с увеличением **диэлектрической проницаемости** диэлектрика емкость конденсатора увеличивается.

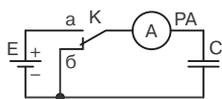


**Это интересно знать.**

*Следовательно, конденсаторы, равные по своим геометрическим размерам, но содержащие в себе различные диэлектрики, имеют различную емкость.*

### Заряд и разряд конденсатора

Включим конденсатор постоянной емкости в цепь. При установке переключателя  $K$  на контакт  $a$  (рис. 1.24) конденсатор будет включен в цепь батареи. Стрелка амперметра в момент включения конденсатора в цепь отклонится и затем постепенно станет на нуль.



**Рис. 1.24.**  
Конденсатор в цепи  
постоянного тока

Следовательно, по цепи прошел электрический ток в определенном направлении. Если теперь переключатель поставить на контакт б (т. е. замкнуть обкладку), то стрелка амперметра отклонится в другую сторону и опять станет на нуль. Следовательно, по цепи также прошел ток, но уже другого направления. Разберем это явление.

Когда конденсатор был подключен к батарее, он заряжался, т. е. его обкладки получали одна положительный заряд, а другая — отрицательный заряд. Заряд продолжался до тех пор, пока разность потенциалов между обкладками конденсатора не сравнялась с напряжением батареи. Амперметр, включенный последовательно в цепь, показал ток заряда конденсатора, который прекратился, как только зарядился конденсатор.

Когда же конденсатор отключили от батареи, он остался заряженным, и разность потенциалов между его обкладками была равна напряжению батареи.

Однако, как только замкнули конденсатор, он начал разряжаться. По цепи пошел ток разряда, но уже в направлении, обратном току заряда. Это продолжалось до тех пор, пока не исчезла разность потенциалов между обкладками, т. е. пока конденсатор не разрядился.

Следовательно, если конденсатор включить в цепь постоянного тока, то в цепи пойдет ток только в момент заряда конденсатора, а в дальнейшем тока в цепи не будет, так как цепь будет разорвана диэлектриком конденсатора.

Поэтому говорят, что «конденсатор не пропускает постоянного тока».

### Рабочее напряжение конденсатора

Количество электричества (Q), которое можно сосредоточить на пластинах конденсатора, его емкость (C) и величина подводимого к конденсатору напряжения (U) связаны следующей зависимостью:

$$Q = CU.$$

Эта формула показывает, что чем больше емкость конденсатора, тем большее количество электричества можно сосредоточить на нем, не повышая сильно напряжения на его обкладках.

Повышение напряжения при неизменной емкости также приводит к увеличению запасаемого конденсатором количества электричества.

Однако если к обкладкам конденсатора подвести большое напряжение, то конденсатор может быть «пробит», т. е. под действием этого напряжения диэлектрик в каком-то месте разрушится и пропустит через себя ток. Конденсатор при этом прекратит свое действие. Чтобы избежать порчи конденсаторов, на них указывают величину допустимого рабочего напряжения.

### Равнозначный конденсатор

Отдельные конденсаторы могут быть соединены друг с другом различным образом. При этом во всех случаях можно найти емкость некоторого равнозначного конденсатора, который может заменить ряд соединенных между собой конденсаторов.

Для равнозначного конденсатора выполняется условие: если подводимое к обкладкам равнозначного конденсатора напряжение равно напряжению, подводимому к крайним зажимам группы конденсаторов, то равнозначный конденсатор накопит такой же заряд, как и группа конденсаторов.

### Параллельное соединение конденсаторов

На рис. 1.25 изображено параллельное соединение нескольких конденсаторов. В этом случае напряжения, подводимые к отдельным конденсаторам, одинаковы:  $U_1 = U_2 = U_3 = U$ . Заряды на обкладках отдельных конденсаторов:  $Q_1 = C_1U$ ,  $Q_2 = C_2U$ ,  $Q_3 = C_3U$ , а заряд, полученный от источника  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ .

Общая емкость равнозначного (эквивалентного) конденсатора:

$$C = Q/U = (Q_1 + Q_2 + Q_3)/U = C_1 + C_2 + C_3;$$

т. е. при параллельном соединении конденсаторов общая емкость равна сумме емкостей отдельных конденсаторов.

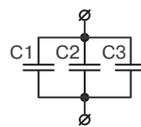
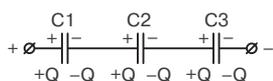


Рис. 1.25. Схема параллельного соединения конденсаторов

### Последовательное соединение конденсаторов

При последовательном соединении конденсаторов (рис. 1.26) на обкладках отдельных конденсаторов электрические заряды по величине равны:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q.$$



**Рис. 1.26.** Схема последовательного соединения конденсаторов

Действительно, от источника питания заряды поступают лишь на внешние обкладки цепи конденсаторов, а на соединенных между собой внутренних обкладках смежных конденсаторов происходит лишь перенос такого же по величине заряда с одной обкладки на другую (наблюдается электростатическая индукция), поэтому и на них появляются равные и разноименные электрические заряды.

Напряжения между обкладками отдельных конденсаторов при их последовательном соединении зависят от емкостей отдельных конденсаторов:  $U_1 = Q/C_1$ ,  $U_2 = Q/C_2$ ,  $U_3 = Q/C_3$ , а общее напряжение  $U = U_1 + U_2 + U_3$ .

Общая емкость равнозначного (эквивалентного) конденсатора  $C = Q/U = Q/(U_1 + U_2 + U_3)$ , т. е. при последовательном соединении конденсаторов величина, обратная общей емкости, равна сумме обратных величин емкостей отдельных конденсаторов.

Формулы эквивалентных емкостей аналогичны формулам эквивалентных проводимостей.

**Задача 1.** Три конденсатора, емкости которых  $C_1 = 20$  мкФ,  $C_2 = 25$  мкФ и  $C_3 = 30$  мкФ, соединяются последовательно, необходимо определить общую емкость.

Общая емкость определяется из выражения  $1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 = 1/20 + 1/25 + 1/30 = 37/300$ , откуда  $C \approx 8,11$  мкФ.

**Задача 2.** 100 конденсаторов емкостью каждый 2 мкФ соединены параллельно. Определить общую емкость. Общая емкость  $C = 100C_k = 200$  мкФ.

## 1.22. Рассмотрим трехфазный переменный ток

### Первое знакомство

В настоящее время во всем мире получила наибольшее распространение трехфазная система переменного тока.



**Это полезно запомнить.**

*Трехфазной системой электрических цепей называют систему, состоящую из трех цепей, в которых действуют переменные ЭДС*

одной и той же частоты, сдвинутые по фазе друг относительно друга на  $1/3$  периода ( $\varphi = 2\pi/3$ ).

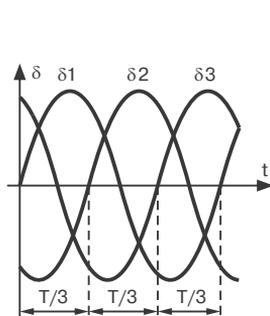
Каждую отдельную цепь такой системы коротко называют ее **фазой**, а систему трех сдвинутых по фазе переменных токов в таких цепях называют просто **трехфазным током**.

### Генератор трехфазного тока

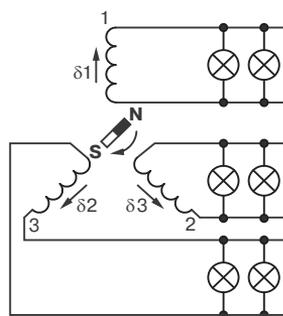
Почти все генераторы, установленные на электростанциях, являются **генераторами трехфазного тока**. По существу, каждый такой генератор представляет собой соединение в одной электрической машине трех генераторов переменного тока. Она сконструирована таким образом, что индуцированные в них ЭДС сдвинуты друг относительно друга на одну треть периода, как это показано на **рис. 1.27**. Как осуществляется подобный генератор легко понять из схемы на **рис. 1.28**.

Здесь имеются три самостоятельных якоря, расположенных на статоре электрической машины и смещенных на  $1/3$  окружности ( $120^\circ$ ). В центре электрической машины вращается общий для всех якорей индуктор, изображенный на схеме в виде постоянного магнита.

В каждой катушке индуцируется переменная ЭДС одной и той же частоты. Но моменты прохождения этих ЭДС через нуль (или через максимум) в каждой из катушек окажутся сдвинутыми на  $1/3$  периода друг относительно друга. Ведь индуктор проходит мимо каждой катушки на  $1/3$  периода позже, чем мимо предыдущей.



**Рис. 1.27.** Графики зависимости от времени ЭДС, индуцированных в обмотках якоря генератора трехфазного тока



**Рис. 1.28.** Три пары независимых проводов, присоединенных к трем якорям генератора трехфазного тока, питают осветительную сеть

### Четырехпроводная система проводки при соединении звездой

Каждая обмотка трехфазного генератора является самостоятельным генератором тока и источником электрической энергии. Присоединив провода к концам каждой из них, как это показано на рис. 1.28, мы получили бы три независимые цепи, каждая из которых могла бы питать те или иные электроприемники, например электрические лампы.

В этом случае для передачи всей энергии, которую поглощают электроприемники, требовалось бы шесть проводов. Можно, однако, так соединить между собой обмотки генератора трехфазного тока, чтобы обойтись четырьмя и даже тремя проводами, т. е. значительно сэкономить проводку.

Первый из этих способов называется **соединением звездой** (рис. 1.29).

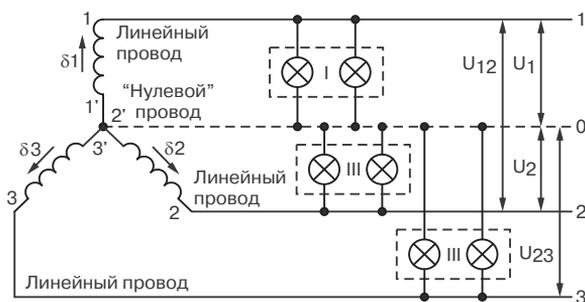


Рис. 1.29. Четырехпроводная система проводки при соединении трехфазного генератора звездой

Нагрузки (группы электрических ламп I, II, III) питаются фазными напряжениями. Будем называть зажимы обмоток 1, 2, 3 началами, а зажимы 1', 2', 3' — концами соответствующих фаз.

**Соединение звезд** заключается в следующем.

**Во-первых**, соединяем концы всех обмоток в одну точку генератора, которая называется **нулевой точкой** или **нейтралью**.

**Во-вторых**, соединяем генератор с приемниками электроэнергии четырьмя проводами:

- ♦ **три** так называемыми **линейными проводами**, идущими от начала обмоток 1, 2, 3;
- ♦ **нулевым** или **нейтральным проводом**, идущим от нулевой точки генератора.

Такая система проводки называется **четырехпроводной**. Напряжения между нулевой точкой и началом каждой фазы называют **фаз-**

ными напряжениями, а напряжения между началами обмоток, т. е. точками 1 и 2, 2 и 3, 3 и 1, называют **линейными**. Фазные напряжения обычно обозначают  $U_1, U_2, U_3$ , или в общем виде  $U_\phi$ , а линейные напряжения —  $U_{12}, U_{23}, U_{31}$ , или в общем виде  $U_\lambda$ .

Между амплитудами или действующими значениями фазных и линейных напряжений при соединении обмоток генератора звездой существует соотношение  $U_\lambda = \sqrt{3}U_\phi \approx 1,73U_\phi$ .

Таким образом, например, если фазное напряжение генератора  $U_\phi = 220$  В, то при соединении обмоток генератора звездой линейное напряжение  $U_\lambda = 380$  В.

### Симметричность нагрузки

В случае равномерной нагрузки всех трех фаз генератора, т. е. при приблизительно одинаковых токах в каждой из них, ток в нулевом проводе равен нулю. Поэтому в этом случае можно нулевой провод упразднить и перейти к еще более экономной трехпроводной системе. Все нагрузки включаются при этом между соответствующими парами линейных проводов.



#### Это интересно знать.

*При несимметричной нагрузке ток в нулевом проводе не равен нулю, но, вообще говоря, он слабее, чем ток в линейных проводах. Поэтому нулевой провод может быть тоньше, чем линейные.*

При эксплуатации трехфазного переменного тока стремятся сделать нагрузку различных фаз по возможности одинаковой. Поэтому, например, при устройстве осветительной сети большого дома при четырехпроводной системе вводят в каждую квартиру нулевой провод и один из линейных с таким расчетом, чтобы в среднем на каждую фазу приходилась примерно одинаковая нагрузка.

### Соединение треугольником

Другой способ соединения обмоток генератора, также допускающий трехпроводную проводку — это **соединение треугольником**, изображенное на рис. 1.30.

Здесь конец каждой обмотки соединен с началом следующей, так что они образуют **замкнутый треугольник**. Линейные провода при-

соединены к вершинам этого треугольника — точкам 1, 2 и 3.



### Это интересно знать.

При соединении треугольником линейное напряжение генератора равно его фазному напряжению:  $U_n = U_\phi$ .

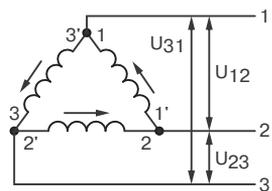


Рис. 1.30. Схема соединения обмоток трехфазного генератора треугольником

Таким образом, переключение обмоток генератора со звезды на треугольник приводит к снижению линейного напряжения в  $\sqrt{3} \approx 1,73$  раза.



### Будьте осторожны.

Соединение треугольником также допустимо лишь при одинаковой или почти одинаковой нагрузке фаз. Иначе ток в замкнутом контуре обмоток будет слишком силен, что опасно для генератора.

## Соединение нагрузок в трехфазной системе

При применении трехфазного тока отдельные приемники (нагрузки), питающиеся от отдельных пар проводов, также могут быть соединены:

- ♦ либо **звездой**, т. е. так, что один конец их присоединен к общей точке, а оставшиеся три свободных конца присоединяются к линейным проводам сети;
- ♦ либо **треугольником**, т. е. так, что все нагрузки соединяются последовательно и образуют общий контур, к точкам 1, 2, 3 которого присоединяются линейные провода сети.

На рис. 1.31 показано соединение нагрузок звездой при трехпроводной системе проводки, а на рис. 1.32 — при четырехпроводной системе проводки (в этом случае

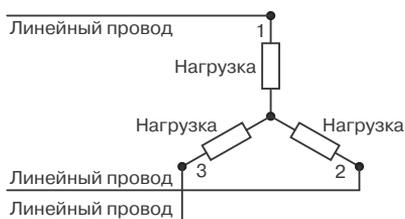


Рис. 1.31. Соединение нагрузок звездой при трехпроводной системе проводки

общая точка всех нагрузок соединяется с нулевым проводом). На рис. 1.33 показана схема соединения нагрузок треугольником при трехпроводной системе проводки.

Практически важно иметь в виду следующее. При соединении нагрузок треугольником каждая нагрузка

находится под линейным напряжением, а при соединении звездой — под напряжением, в  $\sqrt{3}$  раз меньшим. Для случая четырехпроводной системы это положение иллюстрируется на рис. 1.32. Но то же имеет место в случае трехпроводной системы (рис. 1.31).

Между каждой парой линейных напряжений здесь включены последовательно две нагрузки, токи в которых сдвинуты по фазе на  $2\pi/3$ . Напряжение на каждой нагрузке равно соответствующему линейному напряжению, деленному на  $\sqrt{3}$ .

Таким образом, при переключении нагрузок со звезды на треугольник напряжения на каждой нагрузке, а, следовательно, и ток в ней повышаются в  $\sqrt{3} \approx 1,73$  раза. Если, например, линейное напряжение трехпроводной сети равнялось 380 В, то при соединении звездой (рис. 1.31) напряжение на каждой из нагрузок будет равно 220 В, а при включении треугольником (рис. 1.33) будет равно 380 В.

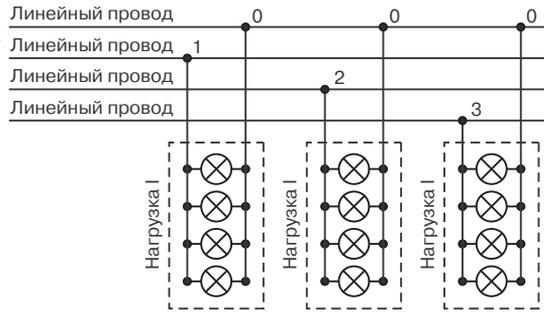


Рис. 1.32. Соединение нагрузок звездой при четырехпроводной системе проводов

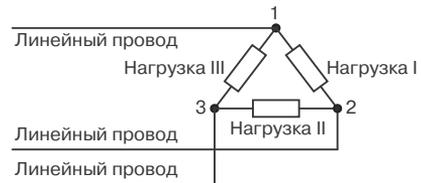


Рис. 1.33. Соединение нагрузок треугольником при трехпроводной системе проводов

## 1.23. Как повысить коэффициент мощности в цепях синусоидального тока

### Влияние реактивного тока

Большинство современных потребителей электрической энергии имеют индуктивный характер нагрузки, токи которой отстают по фазе от напряжения источника. Так для асинхронных двигателей, трансформаторов, сварочных аппаратов и других **реактивный ток** необходим для создания вращающегося магнитного поля у электрических машин и переменного магнитного потока трансформаторов.

Активная мощность таких потребителей при заданных значениях тока и напряжения зависит от  $\cos\varphi$ :

$$P = UI\cos\varphi, I = P/U\cos\varphi.$$



**Это интересно знать.**

*Снижение коэффициента мощности ( $\cos\varphi$ ) приводит к увеличению тока.*

Косинус  $\varphi$  особенно сильно снижается при работе двигателей и трансформаторов вхолостую или при большой недогрузке. Если в сети есть реактивный ток, мощность генератора, трансформаторных подстанций и сетей используется не полностью.



**Это интересно знать.**

*С уменьшением  $\cos\varphi$  значительно возрастают потери энергии на нагрев проводов и катушек электрических аппаратов.*

Например, если активная мощность остается постоянной, обеспечивается током 100 А при  $\cos\varphi = 1$ , то при понижении  $\cos\varphi$  до 0,8 и той же мощности сила тока в сети возрастает в 1,25 раза.

Потери на нагрев проводов сети и обмоток генератора (трансформатора)  $P_{\text{нагр}} = I^2_{\text{сети}} \times R_{\text{сети}}$  пропорциональны квадрату тока, то есть они возрастают в  $1,25^2 = 1,56$  раза.

При  $\cos\varphi = 0,5$  сила тока в сети при той же активной мощности равна  $100/0,5 = 200$  А, а потери в сети возрастают в 4 раза (!). Возрастают потери напряжения в сети, что нарушает нормальную работу других потребителей.

Счетчик потребителя во всех случаях отсчитывает одно и то же количество потребляемой активной энергии в единицу времени, но в последнем случае генератор подает в сеть силу тока, в 2 раза большую, чем в первом. Нагрузка же генератора (тепловой режим) определяется не активной мощностью потребителей, а полной мощностью в киловольт-амперах, то есть произведением напряжения на силу тока, протекающего по обмоткам.

Если обозначить сопротивление проводов линии  $R_{\text{л}}$ , то потери мощности в ней можно определить так:

$$\Delta P = I^2 R_{\text{л}} = \frac{P^2 R_{\text{л}}}{U^2 \cos^2 \varphi}.$$

**Сделаем вывод.**

*Таким образом, чем выше коэффициент мощности потребителя, тем меньше потери мощности в линии и дешевле передача электроэнергии.*

## Коэффициент мощности

**Это полезно запомнить.**

*Коэффициент мощности — это величина, которая показывает, как используется номинальная мощность источника.*

Так, для питания приемника 1000 кВт при  $\varphi = 0,5$  мощность генератора должна быть  $S = P/\cos\varphi = 1000/0,5 = 2000$  кВА, а при  $\cos\varphi = 1$   $S = 1000$  кВА.

Следовательно, **повышение коэффициента мощности увеличивает степень использования мощности генераторов.**

Для повышения коэффициента мощности ( $\cos\varphi$ ) электрических установок применяют **компенсацию реактивной мощности.**

Увеличения коэффициента мощности (уменьшения угла  $\varphi$  — сдвига фаз тока и напряжения) можно добиться следующими способами:

- ♦ заменой мало загруженных двигателей двигателями меньшей мощности;
- ♦ понижением напряжения;
- ♦ выключением двигателей и трансформаторов, работающих на холостом ходу;
- ♦ включением в сеть специальных компенсирующих устройств, являющихся генераторами опережающего (емкостного) тока.

На мощных районных подстанциях для этой цели специально устанавливают синхронные компенсаторы — синхронные перевозбужденные электродвигатели.

## РАДИОЛЮБИТЕЛИ, ЗНАКОМЬТЕСЬ: ЭЛЕКТРОНИКА

*На сегодняшний день практически не осталось областей деятельности человека, в которые не проникла электроника. Все блага цивилизации: телевидение, сотовая связь, компьютеры, интернет возникли только благодаря достижениям в области электроники. Электроника охватывает обширный раздел науки и техники, связанный с изучением и использованием различных физических явлений, а также разработкой и применением устройств, основанных на протекании электрического тока в вакууме, газе и твердом теле.*

### 2.1. Первые шаги в электронику

#### Понятие электрического сигнала

Электроника делится на аналоговую и цифровую, причем последняя практически по всем позициям вытеснила аналоговую.

**Аналоговая электроника** изучает устройства, формирующие и обрабатывающие непрерывные во времени сигналы.

**Цифровая электроника** использует дискретные во времени сигналы, выраженные чаще всего в цифровой форме.

Что же такое сигнал?

**Сигнал** — это что-либо, несущее информацию. Свет, звук, температура, скорость — все это физические величины, изменение которых имеет для нас определенное значение: либо как процесс жизнедеятельности, либо как технологический процесс.

Многие физические величины человек способен воспринимать, как информацию. Для этого у него есть преобразователи — органы

чувств, которые разнообразные внешние сигналы преобразуют в импульсы (имеющие, кстати, электрическую природу), поступающие в головной мозг.

При этом все виды сигналов: и свет, и звук, и температура преобразуются в импульсы одной природы. В электронных системах **функции органов чувств** выполняют датчики (сенсоры), которые преобразуют все физические величины в электрические сигналы. Для света — фотоэлементы, для звука — микрофоны, для температуры — терморезистор или термопара.

Почему именно в электрические сигналы? Ответ очевиден, электрические величины универсальны, так как любые другие величины могут быть преобразованы в электрические и наоборот. Электрические сигналы удобно передавать и обрабатывать.

После поступления информации человеческий мозг на основе обработки этой информации отдает управляющие воздействия мышцам и другим механизмам. Аналогично в электронных системах электрические сигналы управляют электрической, механической, тепловой и другими видами энергии, посредством электродвигателей, электромагнитов, электрических источников света.

### Способы представления информации

При использовании в качестве носителя информации электрических сигналов возможны две ее формы.

**Аналоговая форма** — электрический сигнал аналогичен исходному в каждый момент времени, т. е. непрерывен во времени. Температура, давление, скорость изменяются по непрерывному закону — датчики преобразуют эти величины в электрический сигнал, который изменяется по такому же закону (аналогичен). Величины, представленные в такой форме, могут принимать бесконечно много значений в каком-то диапазоне.

**Дискретная (импульсная и цифровая)** — сигнал представляет собой последовательность импульсов, в которых закодирована информация. При этом кодируются не все значения, а только в конкретные моменты времени — дискретизация сигнала.



**Это полезно запомнить.**

**Импульсный режим работы** — кратковременное воздействие сигнала чередуется с паузой.

По сравнению с непрерывным (аналоговым), импульсный режим работы имеет ряд преимуществ:

- ♦ большие значения выходной мощности на такой же объем электронного устройства и более высокий коэффициент полезного действия;
- ♦ повышение помехоустойчивости, точности и надежности электронных устройств;
- ♦ уменьшение влияния температур и разброса параметров приборов, так как работа осуществляется в двух режимах: «включено» / «выключено»;
- ♦ реализация импульсных устройств на однотипных элементах, легко выполняемых методом интегральной технологии (на микросхемах).

На рис. 2.1 представлены способы кодирования непрерывного сигнала прямоугольными импульсами — процесс модуляции.

**Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)** — амплитуда импульсов пропорциональна входному сигналу.

**Широтно-импульсная модуляция (ШИМ)** — ширина импульсов  $t_{\text{имп}}$  пропорциональна входному сигналу, амплитуда и частота импульсов постоянны.

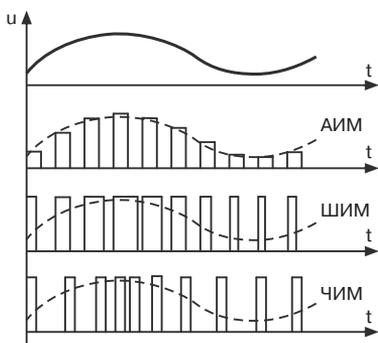


Рис. 2.1. Способы кодирования непрерывного сигнала прямоугольными импульсами

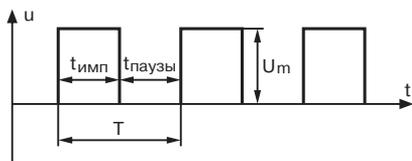


Рис. 2.2. Основные параметры прямоугольных импульсов

**Частотно-импульсная модуляция (ЧИМ)** — входной сигнал определяет частоту следования импульсов, которые имеют постоянную длительность и амплитуду.

Наиболее распространены импульсы прямоугольной формы. На рис. 2.2 приведена периодическая последовательность прямоугольных импульсов и их основные параметры.

Импульсы характеризуются следующими параметрами:

$U_m$  — амплитуда импульса;

$t_{\text{имп}}$  — длительность импульса;

$t_{\text{паузы}}$  — длительность паузы между импульсами;

$T_{\text{п}} = t_{\text{и}} + t_{\text{п}}$  — период повторения импульсов;

$f = 1/T_n$  — частота повторения импульсов;

$Q_n = T_n/t_n$  — скважность импульсов.



**Это интересно знать.**

*Наряду с прямоугольными импульсами в электронной технике широко применяются импульсы пилообразной, экспоненциальной, трапециидальной и другой формы.*



**Это полезно запомнить.**

***Цифровой режим работы** — информация передается в виде числа, которому соответствует определенный набор импульсов (цифровой код), при этом существенно только наличие или отсутствие импульса.*

Цифровые устройства чаще всего работают только с двумя значениями сигналов — нулем «0» (обычно низкий уровень напряжения или отсутствие импульса) и «1» (обычно высокий уровень напряжения или наличие прямоугольного импульса), т. е. информация представляется в двоичной системе счисления.

Это обусловлено удобством создания, обработки, хранения и передачи сигналов, представленных в двоичной системе: ключ замкнут/разомкнут, транзистор открыт/закрыт, конденсатор заряжен/разряжен, магнитный материал намагничен/размагничен и т. д.

Цифровая информация представляется двумя способами:

- ♦ **потенциальным** — значениям «0» и «1» соответствуют низкий и высокий уровни напряжения;
- ♦ **импульсным** — двоичным переменным соответствует наличие или отсутствие электрических импульсов в определенные моменты времени.

## 2.2. Рассмотрим основные свойства полупроводников

Стремительное развитие и расширение областей применения электронных устройств обусловлено совершенствованием элементной базы, основу которой составляют полупроводниковые приборы. Поэтому, для понимания процессов функционирования электронных

устройств необходимо знание строения и принципа действия основных типов полупроводниковых приборов.

**Полупроводниковые материалы** по своему удельному сопротивлению ( $\rho = 10^{-6}—10^{10}$  Ом  $\times$  м) занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками.

Основными материалами для производства полупроводниковых приборов являются кремний (Si), карбид кремния (SiC), соединения галлия и индия.

Электропроводность полупроводников зависит от наличия примесей и внешних энергетических воздействий (температуры, излучения, давления и т. д.). Протекание тока обуславливают два типа носителей заряда — **электроны** и **дырки**.

В зависимости от химического состава различают **чистые** и **примесные** полупроводники.

Для изготовления электронных приборов используют твердые полупроводники, имеющие кристаллическое строение. На рис. 2.3 показана модель решетки чистого полупроводника, например, кремния.

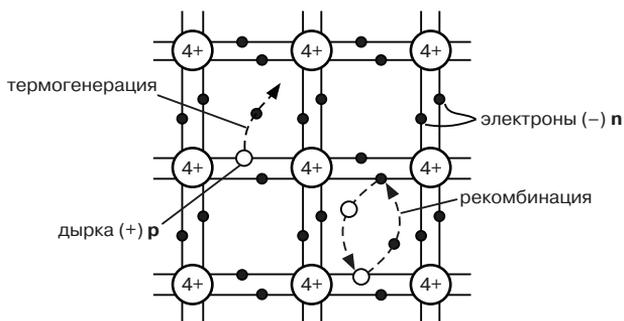


Рис. 2.3. Модель решетки чистого полупроводника



**Это полезно запомнить.**

**Полупроводниковые приборы** — это приборы, действие которых основано на использовании свойств полупроводниковых материалов.

На основе примесных полупроводников изготавливаются полупроводниковые резисторы. Принцип работы большинства полупроводниковых приборов основывается на свойствах электронно-дырочного перехода — **p-n-перехода**.

## 2.3. Полупроводниковые резисторы

**Линейный резистор** — удельное сопротивление мало зависит от напряжения и тока. Является «элементом» интегральных микросхемах.

**Варистор** — сопротивление зависит от приложенного напряжения.

**Терморезистор** — сопротивление зависит от температуры. Различают два типа: **термистор** (с увеличением температуры сопротивление падает) и **позисторы** (с увеличением температуры сопротивление возрастает).

**Фоторезистор** — сопротивление зависит от освещенности (излучения).

**Тензорезистор** — сопротивление зависит от механических деформаций.

На рис. 2.4 показаны условно-графические обозначения некоторых полупроводниковых резисторов.



Рис. 2.4. Условно-графические обозначения полупроводниковых резисторов

## 2.4. Полупроводниковые диоды

### Определение и принцип действия



**Это полезно запомнить.**

**Диод** — это полупроводниковый прибор с одним p-n-переходом и двумя выводами, работа которого основана на свойствах p-n-перехода.

Основным свойством p-n-перехода является односторонняя проводимость — ток протекает только в одну сторону. Условно-графическое обозначение (УГО) диода имеет форму стрелки (рис. 2.5), которая и указывает направление протекания тока через прибор.

Конструктивно диод состоит из p-n-перехода, заключенного в корпус (за исключением микро-модульных бескорпусных) и двух выводов: от p-области — **анод**, от n-области — **катод**.

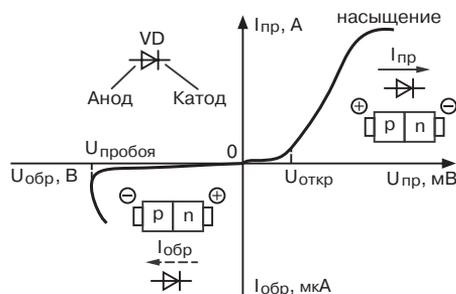


Рис. 2.5. Вольтамперная характеристика диода

Т. о. диод — это полупроводниковый прибор, пропускающий ток только в одном направлении — от анода к катоду.

Зависимость тока через прибор от приложенного напряжения называется **вольтамперной характеристикой (ВАХ)** прибора  $I = f(U)$ . Односторонняя проводимость диода видна из его ВАХ (рис. 2.5).

### Классификация полупроводниковых диодов

В зависимости от назначения полупроводниковые диоды подразделяют на выпрямительные, универсальные, импульсные, стабилитроны и стабилизаторы, туннельные и обращенные диоды, светодиоды и фотодиоды.

Односторонняя проводимость определяет выпрямительные свойства диода. При прямом включении («+» на анод и «-» на катод) диод открыт и через него протекает достаточно большой прямой ток. В обратном включении («-» на анод и «+» на катод) диод заперт, но протекает малый обратный ток.



**Это полезно запомнить.**

**Выпрямительные диоды** предназначены для преобразования переменного тока низкой частоты (обычно менее 50 кГц) в постоянный, т. е. для выпрямления.

Их основными параметрами являются максимально допустимый прямой ток  $I_{пр\ max}$  и максимально допустимое обратное напряжение  $U_{обр\ max}$ . Данные параметры называют **предельными**. Их превышение может частично или полностью вывести прибор из строя.

С целью увеличения этих параметров изготавливают диодные столбы, сборки, матрицы, представляющие собой последовательно-параллельное, мостовое или другие соединения p-n-переходов.



**Пример.**

Нарисуем схему включения диодов (рис. 2.6), рассчитанных на максимально допустимый ток 100 мА каждый и наибольшее обратное напряжение  $U_{обр} = 50$  В, если в цепи протекает ток  $I = 150$  мА и действует напряжение  $U = 80$  В.

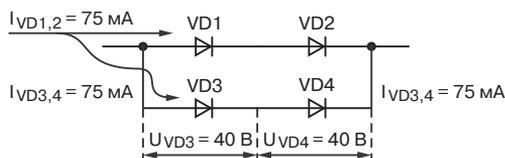


Рис. 2.6. Схема диодной сборки

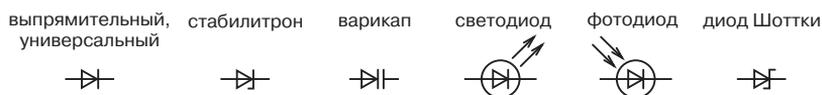


Рис. 2.7. Условно-графическое обозначение полупроводниковых диодов

На рис. 2.7 показаны условно-графические обозначения полупроводниковых диодов.

**Универсальные диоды** служат для выпрямления токов в широком диапазоне частот (до нескольких сотен мегагерц). Параметры этих диодов те же, что и у выпрямительных, только вводятся еще дополнительные параметры: максимальная рабочая частота (МГц) и емкость диода (пФ).

**Импульсные диоды** предназначены для преобразования импульсного сигнала, применяются в быстродействующих импульсных схемах. Требования, предъявляемые к этим диодам, связаны с обеспечением быстрой реакции прибора на импульсный характер подводимого напряжения — малым временем перехода диода из закрытого состояния в открытое, и обратно.

**Стабилитроны** — это полупроводниковые диоды, падение напряжения на которых мало зависит от протекающего тока. Служат для стабилизации напряжения.

**Варикапы** — принцип действия основан на свойстве р-п-перехода изменять значение барьерной емкости при изменении на нем величины обратного напряжения. Применяются в качестве конденсаторов переменной емкости, управляемых напряжением. В схемах варикапы включаются в обратном направлении.

**Светодиоды** — это полупроводниковые диоды, принцип действия которых основан на излучении р-п-переходом света при прохождении через него прямого тока.

**Фотодиоды** — обратный ток зависит от освещенности р-п-перехода.

**Диоды Шоттки** — основаны на переходе металл-полупроводник, за счет чего обладают значительно более высоким быстродействием, нежели обычные диоды.

### Проверка исправности полупроводниковых диодов

Для проверки исправности диодов используется обычный мультиметр, который включается в режим измерения сопротивления

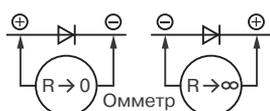


Рис. 2.8. Схема проверки полупроводникового диода

(рис. 2.8). У исправного диода сопротивление в прямом включении («+» — на анод, «-» — на катод) должно быть значительно меньше сопротивления в обратном включении («-» — на анод, «+» — на катод).

Если сопротивления диода в прямом и обратном включении близки к нулю, диод неисправен, неисправность — пробой. Если сопротивления диода в прямом и обратном включении бесконечно большие, диод неисправен, неисправность — обрыв.

## 2.5. Транзисторы

### Определение и классификация транзисторов



**Это полезно запомнить.**

**Транзистор** — это полупроводниковый прибор, предназначенный для усиления, генерирования и преобразования электрических сигналов, а также коммутации электрических цепей.

Отличительной особенностью транзистора является способность усиливать напряжение и ток, действующие на входе транзистора. Напряжения и токи, приводящие к появлению на его выходе напряжений и токов значительно большей величины.

С распространением цифровой электроники и импульсных схем основным свойством транзистора является его способность находиться в открытом и закрытом состояниях под действием управляющего сигнала.



**Это интересно знать.**

Свое название транзистор получил от сокращения двух английских слов *tran(sfer) (re)sistor* — управляемый резистор. Это название неслучайно, так как под действием приложенного к транзистору входного напряжения сопротивление между его выходными контактами может регулироваться в очень широких пределах.

Транзистор позволяет регулировать ток в цепи от нуля до максимального значения.

### Классификация транзисторов:

- ♦ по принципу действия: полевые (униполярные), биполярные, комбинированные;
- ♦ по значению рассеиваемой мощности: малой, средней и большой;
- ♦ по значению предельной частоты: низко-, средне-, высоко- и сверхвысокочастотные;
- ♦ по значению рабочего напряжения: низко- и высоковольтные;
- ♦ по функциональному назначению: универсальные, усилительные, ключевые и др.;
- ♦ по конструктивному исполнению: бескорпусные и в корпусном исполнении, с жесткими и гибкими выводами.

### Режимы работы транзисторов

В зависимости от выполняемых функций транзисторы могут работать в трех режимах.

**Активный режим** — используется для усиления электрических сигналов в аналоговых устройствах. Сопротивление транзистора изменяется от нуля до максимального значения, при этом говорят транзистор «приоткрывается» или «подзакрывается».

**Режим насыщения** — сопротивление транзистора стремится к нулю. При этом транзистор эквивалентен замкнутому контакту реле.

**Режим отсечки** — транзистор закрыт и обладает высоким сопротивлением, т. е. он эквивалентен разомкнутому контакту реле.

Режимы насыщения и отсечки используются в цифровых, импульсных и коммутационных схемах.

### Биполярные транзисторы



**Это полезно запомнить.**

***Биполярный транзистор** — это полупроводниковый прибор с двумя  $p$ - $n$ -переходами и тремя выводами, обеспечивающий усиление мощности электрических сигналов.*

В биполярных транзисторах ток обусловлен движением носителей заряда двух типов: электронов и дырок, что и определяет их название.

На схемах транзисторы допускается изображать, как в окружности, так и без нее (рис. 2.9). Стрелка указывает направление протекания тока в транзисторе.

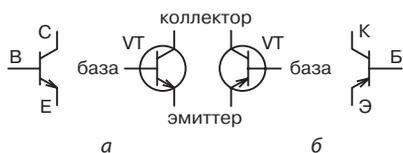


Рис. 2.9. Условно-графические обозначения транзисторов: а — n-p-n-типа; б — p-n-p-типа

Основой транзистора является пластина полупроводника, в которой сформированы три участка с чередующимся типом проводимости — электронным и дырочным. В зависимости от чередования слоев различают два вида структуры транзисторов: n-p-n (рис. 2.9, а.) и p-n-p (рис. 2.9, б.).

**Эмиттер (Э)** — слой, являющийся источником носителей заряда (электронов или дырок) и создающий ток прибора.

**Коллектор (К)** — слой, принимающий носители заряда, поступающие от эмиттера.

**База (Б)** — средний слой, управляющий током транзистора.

При включении транзистора в электрическую цепь один из его электродов является входным (включается источник входного переменного сигнала), другой — выходным (включается нагрузка), третий электрод — общий относительно входа и выхода. В большинстве случаев используется схема с общим эмиттером (рис. 2.10). На базу подается напряжение не более 1 В, на коллектор более 1 В, например + 5 В, + 12 В, + 24 В и т. п.

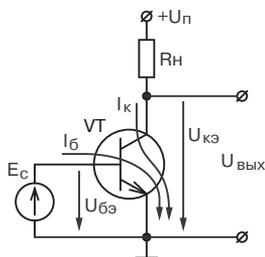


Рис. 2.10. Схема включения биполярного транзистора с общим эмиттером

Ток коллектора возникает только при протекании тока базы  $I_б$  (определяется  $U_{бэ}$ ). Чем больше  $I_б$ , тем больше  $I_к$ .

$I_б$  измеряется в единицах мА, а ток коллектора — в десятках и сотнях миллиампер, т. е.  $I_б \ll I_к$ . Поэтому при подаче на базу переменного сигнала небольшой амплитуды малый  $I_б$  будет изменяться, и пропорционально ему будет изменяться большой  $I_к$ . При включении в цепь коллектора сопротивления нагрузки на нем будет выделяться сигнал, повторяющий по форме входной, но большей амплитуды, т. е. усиленный сигнал.

### Примеры схем на основе биполярного транзистора

В схеме на рис. 2.11, а транзистор работает в активном режиме, обеспечивая усиление сигнала от микрофона. Микрофон преобразует звуковую волну, например, создаваемую человеческим голосом (голосовыми связками) в электрический сигнал. Мощность данного сигнала

невелика, но поступая на базу, он управляет большим током коллектора, который протекая через динамик, создает в нем ту же звуковую волну, но уже большей мощности.

Схема на рис. 2.11, б работает в импульсном режиме:

- ♦ транзистор закрыт, когда уровень воды ниже заданного;
- ♦ транзистор открыт при достижении воды датчика уровня.

Вода замыкает контакт, протекает ток базы транзистора по цепи:

$+ U_{п} \rightarrow$  токоограничивающий резистор  $R \rightarrow$   
переход база-эмиттер транзистора  $\rightarrow$  корпус ( $-U_{п}$ ).

Протекание тока базы вызывает протекание тока коллектора по цепи:

$+ U_{п} \rightarrow$  обмотка реле  $K \rightarrow$   
переход коллектор-эмиттер транзистора  $\rightarrow$  корпус.

Ток коллектора создает в обмотке магнитное поле, замыкается контакт реле  $K$ , начинает работать электродвигатель  $M$  (например, откачивать воду).

### Основные параметры транзисторов

К числу предельно допустимых параметров транзисторов, в первую очередь, относятся:

- ♦ максимально допустимая мощность, рассеиваемая на коллекторе  $P_{к.маx}$
- ♦ напряжение между коллектором и эмиттером  $U_{кэ.маx}$
- ♦ ток коллектора  $I_{к.маx}$

Для повышения предельных параметров выпускаются транзисторные сборки (рис. 2.12), которые могут насчитывать до нескольких сотен параллельно соединенных транзисторов, заключенных в один корпус.

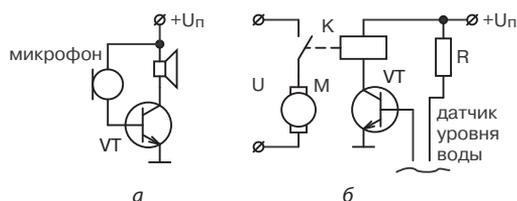


Рис. 2.11. Схемы с использованием биполярного транзистора:  
а — схема усилителя звука;  
б — схема контроля уровня воды

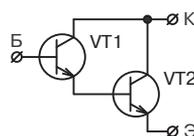


Рис. 2.12.  
Транзисторная  
сборка (схема  
Дарлингтона)

## Проверка исправности биполярных транзисторов

Для проверки транзистора (рис. 2.13) необходимо проверить исправность переходов база — коллектор, база — эмиттер по методике проверки исправности полупроводникового диода, т. к. каждый из переходов биполярного транзистора является аналогом диода.

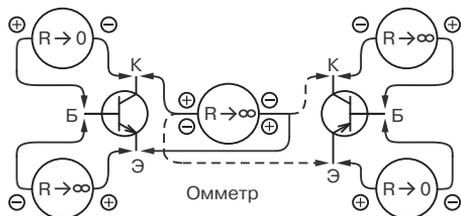


Рис. 2.13. Схема проверки биполярного транзистора

После этого необходимо проверить отсутствие пробоя между коллектором и эмиттером транзистора, которое при любой полярности приложения щупов мультиметра должно быть близко к бесконечности. Некоторые типы мощных транзисторов могут иметь встроенный диод между коллектором и эмиттером, а также защитный резистор 30—50 Ом между эмиттером и базой.



### Это интересно знать.

Биполярные транзисторы ныне используются все реже и реже, особенно в импульсной силовой технике. Их место занимают полевые транзисторы MOSFET и комбинированные транзисторы IGBT, имеющие в этой области электроники несомненные преимущества.

## Полевые транзисторы

В полевых транзисторах ток определяется движением носителей только одного знака (электронами или дырками). В отличие от биполярных, ток транзистора управляется электрическим полем, которое изменяет сечение проводящего канала.

Так как нет протекания тока во входной цепи, то и потребляемая мощность из этой цепи практически равна нулю, что, несомненно, является достоинством полевого транзистора.

Конструктивно транзистор состоит из проводящего канала n- или p-типа, на концах которого находятся области:

- ♦ исток, испускающий носители заряда;
- ♦ сток, принимающий носители.

Электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала, называют затвором.



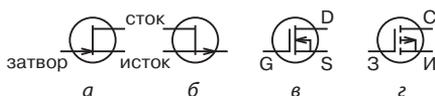
**Это полезно запомнить.**

**Полевой транзистор** — это полупроводниковый прибор, регулирующий ток в цепи за счет изменения сечения проводящего канала.

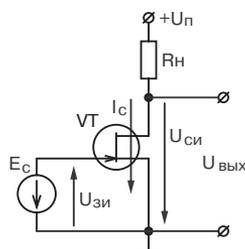
Различают полевые транзисторы с затвором в виде р-п-перехода (рис. 2.14, а, б) и с изолированным затвором (рис. 2.14, в, г).

Проводящий канал можно представить в виде цилиндра с изменяющимся сечением. Величина  $I_c$  определяется проводимостью канала, т. е. его сечением — чем больше сечение, тем больше ток. Для уменьшения сечения на затвор подается обратное напряжение (для канала n-типа — отрицательное) до 1 В.

Типовая схема включения полевого транзистора представлена на рис. 2.15.



**Рис. 2.14.** Условно-графические обозначения полевых транзисторов:  
а — с затвором в виде р-п-перехода с каналом n-типа; б — с затвором в виде р-п-перехода с каналом р-типа; в — с изолированным затвором со встроенным каналом n-типа; г — с изолированным затвором с индуцированным каналом р-типа



**Рис. 2.15.** Схемы включения полевого транзисторов с затвором в виде р-п-перехода с каналом n-типа

### Полевые транзисторы с изолированным затвором

У полевых транзисторов с изолированным затвором между полупроводниковым каналом и металлическим затвором расположен изолирующий слой из диэлектрика. Поэтому их называют **МДП-транзисторы** (металл-диэлектрик-полупроводник), частный случай — окисел кремния — **МОП-транзисторы**.

МДП-транзистор со встроенным каналом имеет начальную проводимость и даже при отсутствии входного сигнала ( $U_{зи} = 0$ ) протекает ток стока. В **МДП-транзисторах с индуцированным каналом** при напряжении  $U_{зи} = 0$  выходной ток отсутствует,  $I_c = 0$ , так как проводящего канала изначально нет.

МДП-транзисторы с индуцированным каналом называют также **MOSFET транзисторы**. Используются в основном в качестве ключевых элементов, например, в импульсных источниках питания.

Ключевые элементы на МДП-транзисторах имеют ряд **преимуществ**:

- ♦ цепь сигнала гальванически не связана с источником управляющего воздействия;
- ♦ цепь управления не потребляет тока;
- ♦ обладают двухсторонней проводимостью.

Полевые транзисторы, в отличие от биполярных, не боятся перегрева.

На **рис. 2.16** представлена схема управления коллекторным электродвигателем на основе MOSFET транзистора.

Управляющий импульс поступает на генератор импульсов **G**, который вырабатывает импульсы различной длительности — **широтно-импульсная модуляция**.

При длительности выходного импульса **0%** от периода управляющего сигнала нет, на затворе низкий уровень напряжения — транзистор закрыт, ток через двигатель **M** не течет.

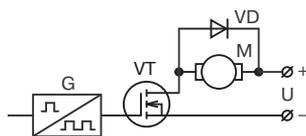
При длительности выходного импульса **100%** от периода на выходе генератора тоже импульсов нет, но уровень управляющего сигнала высокий. Транзистор открыт, и все напряжение от источника **U** приложено к двигателю **M**. Он развивает при этом максимальную мощность.

При **промежуточном значении** длительности управляющего импульса, например, половине от максимального, на выходе генератора присутствуют импульсы, длительность которых составляет половину периода. Соответственно, транзистор половину периода открыт, половину — закрыт.



**Это интересно знать.**

*Диод в схеме необходим для протекания тока через двигатель, когда транзистор закрыт.*



**Рис. 2.16.** Схемы с использованием полевого транзистора

### Комбинированный транзистор

Комбинированный транзистор, состоящий из управляющего MOSFET и выходного биполярного каскада (**рис. 2.17**), называется **биполярный транзистор с изолированным затвором БТИЗ — IGBT**, в котором соединяются достоинства полевых и биполярных транзисторов, работающих в ключевом режиме.

IGBT-транзисторы применяют для управления электроприводами, в импульсных блоках питания, системах электронного зажигания автомобилей и т. д. Могут работать на частотах до 75 кГц при рабочем напряжении 1200 В и токе до 80 А.



Рис. 2.17. Условно-графическое обозначение транзистора IGBT

### Проверка исправности полевых транзисторов

Проверка полевых транзисторов осуществляется специальными приборами, но при необходимости ее можно произвести с помощью мультиметра.

Для проверки полевого транзистора с затвором в виде р-п-перехода необходимо щупы омметра в произвольной полярности подключить к выводам стока и истока, коснуться рукой затвора. Если проводимость меняется, то транзистор с высокой долей вероятности исправен.

У исправного MOSFET транзистора между всеми его выводами должно быть бесконечное сопротивление. В мощных полевых транзисторах между стоком и истоком имеется встроенный диод, поэтому канал сток-исток при проверке ведет себя как обычный диод.

При касании «положительным» щупом мультиметра вывода затвора (G) при контакте «отрицательного» щупа со стоком (D) (для канала n-типа) транзистор открывается, и сопротивление канала сток-исток стремится к нулю — мультиметр между стоком и истоком показывает значение близкое к 0, причем при любой полярности приложенного напряжения.

## 2.6. Тиристоры

### Определение и принцип действия



**Это полезно запомнить.**

**Тиристор** — это полупроводниковый прибор, работающий в двух устойчивых состояниях: низкой проводимости (тиристор закрыт) и высокой проводимости (тиристор открыт).

Конструктивно тиристор имеет три или более р-п-переходов и три вывода. Кроме **анода** и **катода**, в конструкции тиристора предусмотрен третий вывод (электрод), который называется **управляющим**.

Тиристор предназначен для бесконтактной коммутации (включения и выключения) электрических цепей. Характеризуются высоким быстродействием и способностью коммутировать токи весьма значительной величины (до 1000 А). Постепенно вытесняются коммутационными транзисторами.

### Типы тиристоров

**Динисторы** (двухэлектродные) — как и обычные выпрямительные диоды имеют анод и катод. С увеличением прямого напряжения при определенном значении  $U_a = U_{вкл}$  динистор открывается.

**Тиристоры** (тринисторы — трехэлектродные) — имеют дополнительный управляющий электрод;  $U_{вкл}$  изменяется током управления, протекающим через управляющий электрод.

Для перевода тиристора в закрытое состояние необходимо подать напряжение обратное («-» на анод, «+» на катод) или уменьшить прямой ток ниже значения, называемого током удержания  $I_{удер}$ .

**Запираемый тиристор** — может быть переведен в закрытое состояние подачей управляющего импульса обратной полярности.

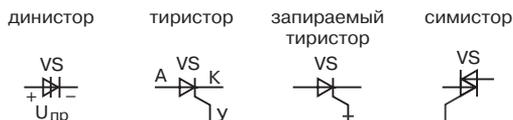


Рис. 2.18. Условно-графическое обозначение тиристоров

**Симисторы** (симметричные тиристоры) — проводят ток в обоих направлениях.

На рис. 2.18 показаны условно-графические обозначения различных типов тиристоров.

### Применение тиристоров

Тиристоры применяются в качестве бесконтактных переключателей и управляемых выпрямителей в устройствах автоматики и преобразователях электрического тока.

В цепях переменного и импульсных токов можно изменять время открытого состояния тиристора, а значит и время протекания тока через нагрузку. Это позволяет регулировать мощность, выделяемую в нагрузку.

В схеме сигнализации (рис. 2.19) тиристор коммутирует мощную нагрузку — звонок. При целостности шлейфа потенциал базы

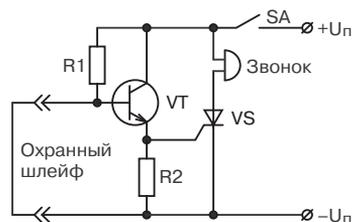


Рис. 2.19. Схема охранной сигнализации

транзистора равен нулю, транзистор и тиристор закрыты. Обрыв охранного шлейфа вызовет протекания тока базы, транзистор откроется, и его ток коллектора будет являться также током управляющего электрода тиристора. Тиристор открывается и звенит звонок. Для отключения сигнализации (закрытия тиристора) предусмотрен выключатель SA.

## 2.7. Оптоэлектронные приборы

Оптоэлектронные приборы основаны на совместном использовании электрических и оптических явлений. Простейший оптоэлектронный прибор состоит из источника излучения — светодиода, и приемника излучения (фоторезистор, фотодиод, фототранзистор, фототиристор), имеющих между собой оптическую связь (рис. 2.20). Такой прибор называется **оптопар**.



Рис. 2.20. Варианты оптопар

Основное назначение оптопар — устранение электрической связи между отдельными узлами и элементами.

## 2.8. Интегральные микросхемы



**Это полезно запомнить.**

**Интегральная микросхема (ИМС)** — микроэлектронное изделие, содержащее активные и пассивные элементы, которые изготавливаются в едином технологическом процессе, электрически соединены между собой, заключены в общий корпус и представляют неразделимое целое.

**Недостатками** электронной аппаратуры, построенной на основе дискретных элементов (резисторов, диодов, транзисторов, конденсаторов и т. д.), являются:

- ♦ большое количество элементов, контактов;
- ♦ разветвленность межэлементных соединений.

Отсюда вытекают большая масса и габариты, трудоемкость изготовления, низкая надежность, высокая стоимость.

В связи с этим, интенсивно развивается микроэлектроника, в основу которой положен интегральный принцип изготовления электронных компонентов.

Наибольшее распространение получили полупроводниковые ИМС, которые представляют собой полупроводниковый кристалл, в толще которого выполняются все компоненты схемы и межэлементные соединения.

Полупроводниковый кристалл заключается в корпус, чаще всего пластмассовый (рис. 2.21). Размер корпуса определяется количеством выводов. Мощные микросхемы изготавливают в керамическом корпусе, либо имеют металлические теплоотводы. Для дополнительного охлаждения используются радиаторы.

Современные электронные устройства реализованы преимущественно на ИМС.

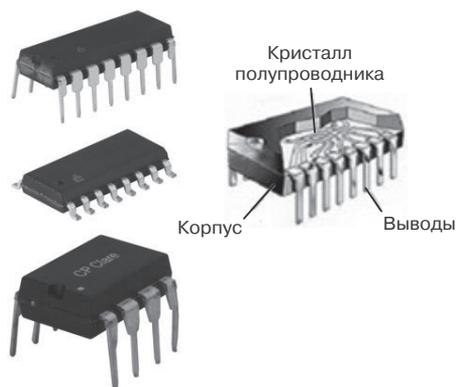


Рис. 2.21. Устройство интегральной микросхемы

## 2.9. Обозначение полупроводниковых приборов

Используется много способов обозначения зарубежных полупроводниковых приборов, поэтому приведем только отечественный стандарт (табл. 2.1).

Обозначение полупроводниковых приборов

Таблица 2.1

<b>материал полупроводника</b> (один знак)			
Г(1) — германий К(2) — кремний А(3) — соединения галлия И(4) — соединения индия			
<b>подкласс приборов</b> (один знак)			
Д — выпрямительные диоды	Л — излучающие оптоэлектронные приборы		
Ц — выпрямительные блоки	О — оптопары		
В — варикапы	Н — динисторы		
И — туннельные и обращенные диоды	У — тиристоры		
А — СВЧ — диоды	Т — биполярные транзисторы		
С — стабилитроны и стабисторы	П — полевые транзисторы		
<b>цифра (буква), определяющая параметр или назначение</b> (один знак)			
- для диодов — значение прямого тока или быстрдействие переключения			
- для стабилитронов — мощностью и напряжением стабилизации			
- для тиристоров — значение прямого тока			
- для транзисторов соотношение частоты и мощности			
	малой мощности	средней мощности	большой мощности
низкой частоты	1	4	7
средней	2	5	8
высокой	3	6	9
<b>номер разработки</b> (четыре знака)			
<b>буквы А-Я</b> — тип параметрической группы (один знак)			

**Пример.**

*КД215А — кремневый выпрямительный диод,  $0,3 \text{ A} < I \leq 10 \text{ A}$ , номер разработки 15, группа А.*

## 2.10. Приборы и устройства индикации

### Основные типы неполупроводниковых индикаторов

Индикаторные приборы или элементы индикации составляют основу устройств отображения информации, которые предназначены для преобразования электрического сигнала в видимую форму.

**Накальные индикаторы.** Используется свечение нити накаливания, разогретой электрическим током. Представляют собой миниатюрные лампы накаливания, подсвечивающие цветные корпуса (светофильтры) индикаторов и кнопок или определенные изображения, знаки, символы.

**Электролюминесцентные индикаторы.** Применяется свечение некоторых веществ под воздействием электрического поля. Например, вакуумно-люминесцентные индикаторы.

Представляют собой многоанодные лампы, имеющие катод, эмитирующий электроны, и сетку, управляющую током индикатора. Аноды выполняются в виде знаков синтезирующих сегментов, покрытых люминофором. При столкновении с поверхностью анодов электроны вызывают свечение люминофора необходимого цвета. На каждый анод отдельно подается питающее напряжение.

Ранее широко применялись, вытесняются сейчас другими видами индикаторов. Позволяют получить большое количество элементов и знаков разных цветов и высокой яркости.

**Электронно-лучевые приборы** основаны на свечении люминофора при бомбардировке его электронами. Самыми яркими представителями электронно-лучевых приборов являются электронно-лучевые трубки (ЭЛТ).

ЭЛТ — электронный электровакуумный прибор, в котором используется поток электронов, сконцентрированный в форме луча, управляемый электрическим или (и) магнитным полем и создающий на специальном экране видимое изображение (рис. 2.22). Применяются

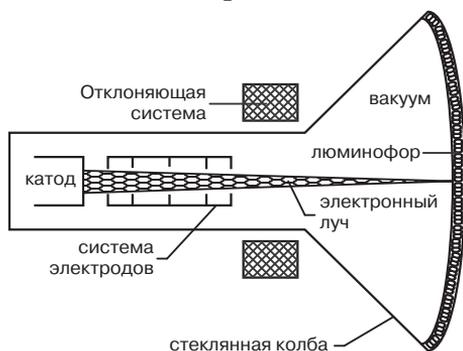


Рис. 2.22. Конструкция электронно-лучевой трубки

в осциллографах — для наблюдения электронных процессов, в телевидении (кинескопы) — для преобразования электрического сигнала, содержащего информацию о яркости и цвете передаваемого изображения, в индикаторных устройствах РЛС — для преобразования электрических сигналов, содержащих информацию об окружающем пространстве, в видимое изображение.



#### Это интересно знать.

*Интенсивно вытесняются жидкокристаллическими индикаторами: выпуск ЭЛТ мониторов прекращен, ЭЛТ телевизоров — сокращается.*

**Газоразрядные (ионные) приборы** используют свечение газа при электрическом разряде. Состоят из герметичного баллона с впаянным в него электродами (в простейшем случае анодом и катодом — неоновая лампа), и заполненного инертными газами (неон, гелий, аргон,

криптон) под низким давлением. При подаче напряжения наблюдается свечение газа. Цвет свечения определяется составом газонаполнителя. Используются для индикации постоянного или переменного напряжений.

На сегодняшний день газоразрядные приборы применяются для изготовления плазменных панелей.

**Плазменная панель PDP (plasma display panel)** — это матрица ячеек, заключенная между двумя стеклами. Каждая ячейка покрыта люминофором (соседние ячейки образуют триады из трех цветов — красного, зеленого и синего R, G, B) и заполнена инертным газом — неоном или ксеноном (рис. 2.23). Когда на электроды ячейки подается электрический ток, газ переходит в состояние плазмы и заставляет люминофор светиться.

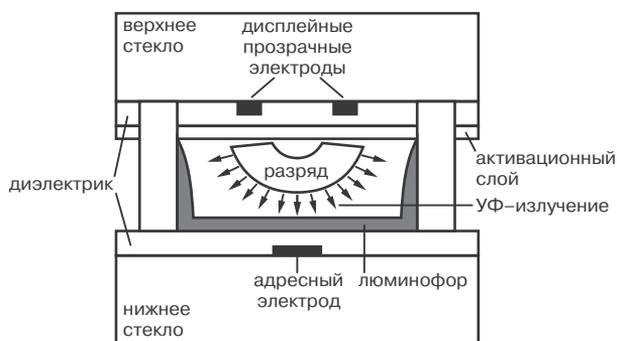


Рис. 2.23. Конструкция ячейки плазменной панели

Основным достоинством плазменных панелей является большой размер экрана (от 42 до 65 дюймов). Кроме того, отдельные панели можно собирать в большие экраны для использования на концертных площадках, стадионах, площадях и т. д.

Плазменные панели имеют высокую контрастность (разность между черным и белым), большой угол обзора и широкий диапазон рабочих температур.

Наряду с достоинствами есть и недостатки: только большие по размеру панели, постепенное «выгорание» люминофора, относительно большая потребляемая мощность.

### Полупроводниковые индикаторы

Принцип действия основан на излучении квантов света в области р-п-перехода, к которому приложено напряжение.

Различают:

- ♦ дискретные (точечные) полупроводниковые индикаторы — **светодиоды**;
- ♦ знаковые индикаторы — для отображения цифр и букв;
- ♦ светодиодные матрицы.

**Светодиоды**, или светоизлучающие диоды (англ. LED — Light Emitted Diod), получили широкое распространение благодаря компактности, возможности получения любого цвета излучения, отсутствия хрупкой стеклянной колбы, низким питающим напряжениям и простоте включения.

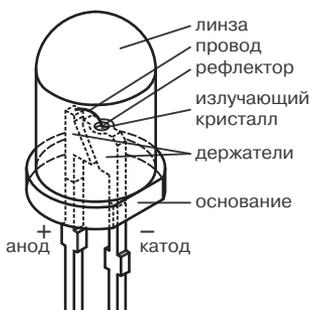


Рис. 2.24. Конструкция светоизлучающего диода

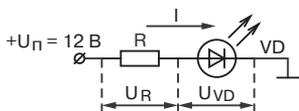


Рис. 2.25. Схема включения светодиода

Светодиод состоит из одного или нескольких кристаллов (рис. 2.24), испускающих излучение, и расположенных в одном корпусе с линзой и рефлектором, который формирует направленный световой луч в видимой или инфракрасной (невидимой) части спектра.

**Задача 1.** На рис. 2.25 приведена схема включения светодиода к источнику питания 12 В. Падение напряжения на диоде в прямом включении составляет порядка 2,5 В, поэтому необходимо последовательно включать гасящий резистор. Для обеспечения достаточной яркости ток диода должен составлять величину порядка 20 мА. Необходимо определить сопротивление гасящего резистора R.

Для этого определяем напряжение, которое должно падать (гаситься) на резисторе:

$$U_R = U_{\Pi} - U_{VD} = 12 - 2,5 = 9,5 \text{ В.}$$

Для обеспечения заданного тока в цепи при известном напряжении, по закону Ома определяем величину сопротивления резистора:

$$R = U_{\Pi} / I = 9,5 / 20 \times 10^{-3} = 475 \text{ Ом.}$$

Далее выбирается ближайшее большее стандартное значение резистора. Для данного примера можно выбрать ближайшее значение 470 Ом.

**Мощные светодиоды** используются в качестве источников света в комнатном и уличном освещении, в прожекторах, светофорах, фарах

автомобилей. Безинерционность делает светодиоды незаменимыми, когда нужно высокое быстродействие.

Объединение в одном корпусе семи светодиодов позволяет создать **семисегментный знаковый индикатор**, который позволяет отображать десять цифр и некоторые буквы. В представленном на схеме индикаторе (рис. 2.26) общим для диодов является анод. На него подается питающее напряжение, а катоды подключаются к электронным ключам (транзисторам), которые соединяют их с корпусом. Обычно управление знаковым индикатором осуществляется микросхемой.

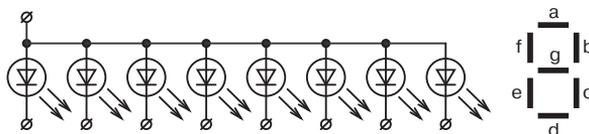


Рис. 2.26. Знаковый полупроводниковый индикатор

**Светодиодные матрицы (модули)** — определенное количество светодиодов, выполненных в виде законченного блока и имеющих схему управления. Матрицы используются для изготовления светодиодных экранов (LED дисплеи).

### Жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ)

ЖКИ основаны на изменении оптических свойств жидких кристаллов под воздействием электрического поля.

**Жидкие кристаллы (ЖК)**, представляют собой органические жидкости с упорядоченным расположением молекул, характерным для кристаллов. Жидкие кристаллы прозрачны для световых лучей, но под действием электрического поля структура их нарушается, молекулы располагаются беспорядочно, и жидкость становится непрозрачной.

По принципу действия различают ЖКИ, работающие в проходящем свете (на просвет), созданном источником подсветки (газоразрядные лампы или светодиоды) и в свете любого источника (искусственного или естественного), отражающемся в индикаторе (на отражение). Работа на просвет используется в мониторах, дисплеях сотовых телефонов и других приборов. Индикаторы, работающие на отражение, встречаются в измерительных приборах, часах, калькуляторах, дисплеях бытовой техники и др.

Кроме того, ряд индикаторов используется с отключаемой подсветкой в условиях яркого освещения и с включенной подсветкой в усло-

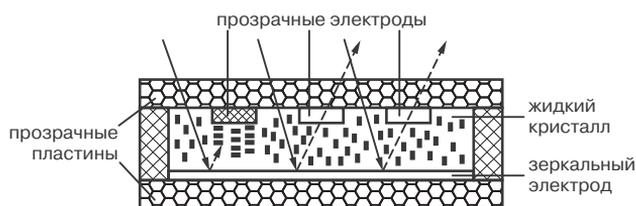


Рис. 2.27. Жидкокристаллический индикатор, работающий на отражение

Между двумя прозрачными пластинками находится слой жидкого кристалла (толщина слоя 10—20 мкм). На верхнюю пластинку нанесены прозрачные электроды, имеющие форму сегментов, цифр или букв.

Если на электроды напряжение не подано, то ЖК будет прозрачен. Световые лучи внешнего естественного освещения проходят через него, отражаются от нижнего зеркального электрода и выходят обратно. При этом мы видим пустой экран. При подаче на какой-либо электрод напряжения, ЖК под этим электродом становится непрозрачным. Лучи света не проходят через эту часть жидкости, и тогда на экране мы видим сегмент, цифру, букву, знак и т. п.

Жидкокристаллические индикаторы обладают целым рядом преимуществ, среди которых можно выделить очень низкое энергопотребление, компактность, долговечность.



#### Это интересно знать.

На сегодняшний день ЖК-мониторы (LCD-мониторы — Liquid Crystal Display — жидкокристаллические мониторы, TFT-мониторы — ЖК-матрица с использованием тонкопленочных транзисторов) являются основным типом мониторов и телевизионных приемников.

## 2.11. Электронные усилители

### Структура электронных усилителей



#### Это полезно запомнить.

**Усилители** — это устройства, предназначенные для усиления напряжения, тока и мощности электрического сигнала.

Использование усилителей вызвано тем, что обычно электрические сигналы (напряжения и токи), поступающие в электронные

устройствах низкой освещенности, что позволяет уменьшить потребляемую мощность.

На рис. 2.27 представлен ЖКИ, работающий на отражение. Между двумя прозрачными



Рис. 2.28. Окружение усилителя

устройства малы по амплитуде. Поэтому возникает необходимость увеличивать их до требуемой величины, достаточной для дальнейшего использования (преобразования, передачи, подачи на нагрузку). Простейший усилитель представляет собой схему на основе транзистора. На рис. 2.28 представлены устройства, необходимые для работы усилителя.

**Мощность**, выделяющаяся на нагрузке усилителя, является преобразованной мощностью его источника питания, а входной сигнал только управляет ею. Усилители питаются от источников постоянного тока.

Обычно усилитель состоит из нескольких каскадов усиления (рис. 2.29). Первые каскады усиления, предназначенные, главным образом, для усиления напряжения сигнала, называют **предварительными**. Их схемное построение определяется типом источника входного сигнала.



Рис. 2.29. Структура усилителя

Каскад, служащий для усиления мощности сигнала, называют **оконечным** или **выходным**. Их схемотехника определяется видом нагрузки. Так же, в состав усилителя могут входить **промежуточные каскады**, предназначенные для получения необходимого коэффициента усиления и (или) формирования необходимых характеристик усиливаемого сигнала.

## Классификация электронных усилителей

**В зависимости от усиливаемого параметра:** усилители напряжения, тока, мощности.

**По роду усиливаемых сигналов:**

- ♦ усилители гармонических (непрерывных) сигналов;
- ♦ усилители импульсных сигналов (цифровые усилители).

**По полосе усиливаемых частот:**

- ♦ усилители постоянного тока;
- ♦ усилители переменного тока — низкой частоты, высокой, сверх-высокой и т. д.

**По характеру частотной характеристики:**

- ♦ резонансные (усиливают сигналы в узкой полосе частот);
- ♦ полосовые (усиливают определенную полосу частот);
- ♦ широкополосные (усиливают весь диапазон частот).

## Основные параметры усилителя

При выборе усилителя исходят из параметров усилителя. Рассмотрим основные параметры.

**Выходная мощность** измеряется в ваттах. Выходная мощность варьируется в широких пределах в зависимости от назначения усилителя, например, в усилителях звука — от милливольт в наушниках до десятков и сотен ватт в аудиосистемах.

**Диапазон частот** измеряется в герцах. Например, тот же усилитель звука обычно должен обеспечивать усиление в диапазоне частот 20—20000 Гц, усилитель телевизионного сигнала (изображение и звук) — 20 Гц—10 МГц и выше.

**Нелинейные искажения** измеряются в процентах (%). Характеризуют искажение формы усиливаемого сигнала. Обычно чем меньше данный параметр, тем лучше.

**КПД** (коэффициент полезного действия) измеряются в процентах (%). Показывает, какая часть энергии источника питания расходуется на выделение мощности в нагрузку. Дело в том, что часть мощности источника тратится бесполезно. В большей степени это тепловые потери. Протекание тока всегда вызывает нагрев материала. Особенно критичен данный параметр для устройств с автономным питанием (от аккумуляторов и батарей).

### Типовая схема предварительного каскада усиления

На рис. 2.30 представлена типовая схема предварительного каскада усиления на биполярном транзисторе. Входной сигнал поступает от источника напряжения  $U_{вх}$ . Разделительные конденсаторы  $C_{p1}$  и  $C_{p2}$  пропускают переменный, т. е. усиливаемый сигнал и не пропускают постоянный ток, что позволяет создавать независимые режимы работы по постоянному току в последовательно включенных каскадах усилителя.

Резисторы  $R_{б1}$  и  $R_{б2}$  являются базовым делителем, обеспечивая начальный ток базы транзистора  $I_{б0}$ , резистор  $R_{к}$  обеспечивает начальный ток коллектора  $I_{к0}$ . Эти токи называют **токами покоя**. При отсутствии входного сигнала они постоянные. На рис. 2.31 изображены временные диаграммы работы усилителя.

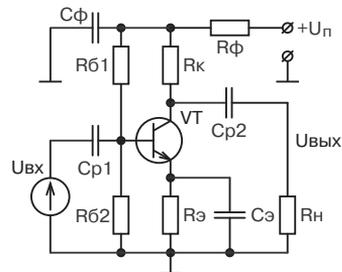


Рис. 2.30. Схема каскада усиления на биполярном транзисторе



**Это полезно запомнить.**

**Временная диаграмма** — это изменение какого-либо параметра во времени.

Резистор  $R_{э}$  обеспечивает отрицательную обратную связь (ООС) по току. **Обратная связь (ОС)** — это передача части выходного сигнала во входную цепь усилителя. Если входной сигнал и сигнал обратной связи противоположны по фазе, обратная связь называется **отрицательной**. ООС уменьшает коэффициент усиления, но при этом уменьшает нелинейные искажения и увеличивает стабильность усилителя. Применяется практически во всех усилителях.

Резистор  $R_{ф}$  и конденсатор  $C_{ф}$  являются элементами фильтра. Конденсатор  $C_{ф}$  образует цепь низкого сопротивления для переменной составляющей тока, потре-

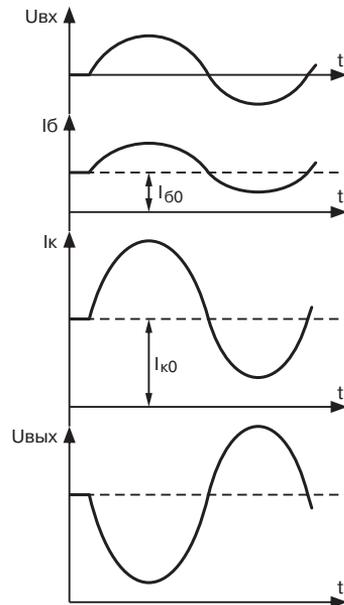


Рис. 2.31. Временные диаграммы токов и напряжений в усилительном каскаде на биполярном транзисторе

бляемого усилителем от источника  $U_{\text{н}}$ . Элементы фильтра необходимы, если от источника питаются несколько усилительных каскадов.

При подаче входного сигнала  $U_{\text{вх}}$  во входной цепи появляется ток  $I_{\text{г}} \sim$ , а в выходной  $I_{\text{к}} \sim$ . Падение напряжения, создаваемое током  $I_{\text{к}} \sim$  на нагрузке  $R_{\text{н}}$ , и будет усиленным выходным сигналом.

Из временных диаграмм напряжений и токов (рис. 2.31) видно, что переменные составляющие напряжений на входе  $U_{\text{г}} \sim$  и выходе  $U_{\text{к}} \sim = U_{\text{вых}}$  каскада противофазны, т. е. каскад усиления на транзисторе с ОЭ изменяет (инвертирует) фазу входного сигнала на противоположную.

### Операционные усилители



**Это полезно запомнить.**

*Операционный усилитель (ОУ) представляет собой усилитель постоянного и переменного тока с большим коэффициентом усиления и глубокой отрицательной обратной связью.*

Можно сказать, что операционные усилители являются основой всей аналоговой электроники. **Широкое распространение ОУ** связано с такими факторами:

- ♦ универсальностью (возможность построения на их основе различных электронных устройств, причем, как аналоговых, так и импульсных);
- ♦ широким диапазоном частот (усиление сигналов постоянного и переменного токов);
- ♦ независимостью основных параметров от внешних дестабилизирующих факторов (изменение температуры, напряжения питания и др.).

В основном используются интегральные усилители (ИОУ).



**Это интересно знать.**

*Присутствие в названии слова «операционные» объясняется возможностью выполнения данными усилителями ряда математических операций — суммирования, вычитания, дифференцирования, интегрирования и др.*

На рис. 2.32 изображены условно-графические обозначения операционных усилителей. Усилитель имеет два входа — прямой и

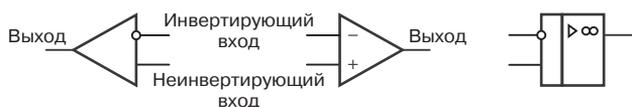


Рис. 2.32. Условно-графические обозначения операционных усилителей

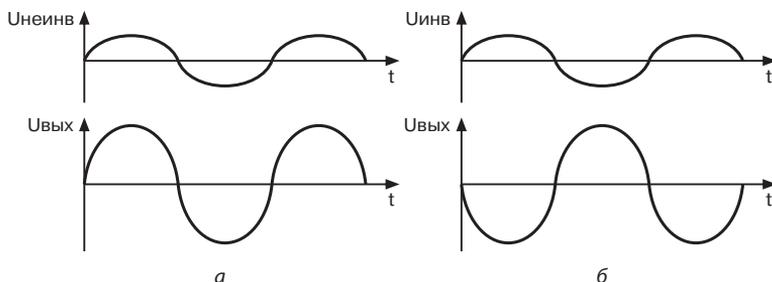


Рис. 2.33. Временные диаграммы:  
а — неинвертирующего ОУ; б — инвертирующего ОУ

инверсный, и один выход. При подаче входного сигнала на неинвертирующий (прямой) вход, выходной сигнал имеет ту же полярность (фазу) — рис. 2.33, а.

При использовании инвертирующего входа фаза выходного сигнала будет сдвинута на  $180^\circ$  по отношению к фазе входного сигнала (полярность изменяется на противоположную) — рис. 2.33, б. Инверсные входы и выходы обозначают кружком.

При подаче напряжения на оба входа выходное напряжение пропорционально разности входных напряжений. Т. е. сигнал на инвертирующем входе берется со знаком минус.

$$U_{\text{вых}} = K(U_{\text{неинв}} - U_{\text{инв}}),$$

где  $K$  — коэффициент усиления.

Питание ОУ осуществляется от двухполярного источника, обычно  $+15\text{ В}$  и  $-15\text{ В}$ . Также допускается однополярное питание. Остальные выводы ИОУ указывают по мере их использования.

Работу ОУ поясняет амплитудная характеристика (рис. 2.34). На характеристике можно выделить линейный участок, на котором с увеличением входного напряжения пропорционально увеличивается



Рис. 2.34. Амплитудная характеристика ОУ

выходное, и два участка насыщения  $U_{+нас}$  и  $U_{-нас}$ . При определенном значении входного напряжения  $U_{вх.маx}$  усилитель переходит в **режим насыщения**, при котором выходное напряжение принимает максимальное значение (при значении  $U_{п} = 15$  В примерно  $U_{нас} = 13$  В) и остается неизменным при дальнейшем увеличении входного сигнала. Режим насыщения используется в импульсных устройствах на ОУ.

### Режимы работы усилителей мощности

Усилители мощности применяются в оконечных каскадах усиления и предназначены для создания необходимой мощности в нагрузке.

Их основная особенность — работа при больших уровнях входного сигнала и больших выходных токах, что вызывает необходимость использовать мощные усилительные приборы.

Усилители могут работать в пяти режимах А, АВ, В, С и D.

**В режиме А** усилительный прибор (транзистор или радиоэлектронная лампа) открыт в течении всего периода усиливаемого сигнала (т. е. постоянно), и через него протекает выходной ток. Усилители мощности класса А вносят минимальные искажения в усиливаемый сигнал, но имеют очень низкий КПД.

**В режиме В** выходной ток делится на две части, один усилительный прибор усиливает положительную полуволну сигнала, второй — отрицательную. Как следствие, имеет место более высокий КПД, чем в режиме А, но и большие нелинейные искажения, возникающие в момент переключения транзисторов.

**Режим АВ** повторяет режим В, но в момент перехода с одной полуволны на другую открыты оба транзистора, что позволяет снизить искажения при сохранении высокого КПД. Режим АВ является наиболее распространенным для аналоговых усилителей.

**Режим С** применяют в тех случаях, когда искажение формы сигнала при усилении не имеет, т. к. выходной ток усилительного прибора протекает меньше чем половина периода, что конечно же ведет к большим искажениям.

**В режиме D** используется преобразование входных сигналов в импульсы, усиление этих импульсов, а затем обратное преобразование. При этом выходные транзисторы работают в **ключевом режиме** (транзистор полностью закрыт или полностью открыт), что приближает КПД усилителя к 100% (в режиме АВ КПД не превышает 50%). Усилители, работающие в режиме D, называют **цифровыми усилителями**.

### Двухтактная схема усилителя мощности

В двухтактной схеме усиление (режим В и АВ) происходит за два такта. В течение первого полупериода входной сигнал усиливается одним транзистором, а другой в течение этого полупериода или его части закрыт. При втором полупериоде сигнал усиливается вторым транзистором, а первый при этом закрыт.

Двухтактная схема усилителя на транзисторах показана на рис. 2.35. Каскад на транзисторе VT3 обеспечивает двухтактный режим работы выходных транзисторов VT1 и VT2. Резисторы R1 и R2 задают режим работы транзисторов по постоянному току.

При приходе отрицательной полуволны  $U_{вх}$  ток коллектора VT3 увеличивается, что приводит к увеличению напряжения на базах транзисторов VT1 и VT2. При этом VT2 закрывается, а через VT1 протекает ток коллектора по цепи:

$+U_{п} \rightarrow$  переход К-Э VT1  $\rightarrow$  C2 (при этом заряжается)  $\rightarrow R_{н} \rightarrow$  корпус.

При приходе положительной полуволны  $U_{вх}$  VT3 подзакрывается, что приводит к уменьшению напряжения на базах транзисторов VT1 и VT2.

VT1 закрывается, а через VT2 протекает ток коллектора по цепи:

$+C2 \rightarrow$  переход Э-К VT2  $\rightarrow$  корпус  $\rightarrow R_{н} \rightarrow -C2$ .

Таким образом, обеспечивается протекание тока обеих полуволн входного напряжения через нагрузку.

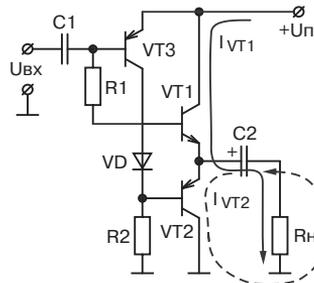


Рис. 2.35. Схема двухтактного усилителя мощности

### Усилители мощности класса D

В режиме D работают усилители с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). На рис. 2.36 представлена структурная схема усилителя класса D. Входной сигнал модулирует прямоугольные импульсы, изменяя их длительность. При этом сигнал преобразуется в импульсы прямоугольной формы одинаковой амплитуды, длительность которых пропорциональна значению сигнала в каждый момент времени.

Последовательность импульсов поступает на транзистор (транзисторы) для усиления. Т. к. усиливаемый сигнал импульсный, транзи-



Рис. 2.36. Структурная схема усилителя класса D

стор работает в ключевом режиме. Работа в ключевом режиме связана с минимальными потерями, ведь транзистор либо закрыт, либо полностью открыт (обладает минимальным сопротивлением). После усиления из сигнала извлекается низкочастотная составляющая (усиленный исходный сигнал) с помощью фильтра нижних частот (ФНЧ) и подается на нагрузку.

Усилители класса D применяются в аудиосистемах портативных компьютеров, мобильных средствах связи, устройствах управления двигателями и др.

Для современных усилителей характерно широкое использование интегральных схем.

## Децибелы

Коэффициент усиления часто выражается в децибелах («дБ» или «dB»).



**Это полезно запомнить.**

**Децибел** — логарифмическая единица уровней, затуханий и усилений.

Децибел широко применяется в любых областях техники, где требуется измерение величин, меняющихся в широком диапазоне: в радиотехнике, в системах передачи информации, акустике (в децибелах измеряется уровень громкости звука) и др.

С помощью децибела можно измерять отношения любых физических величин.

## 2.12. Электронные генераторы



**Это полезно запомнить.**

**Генераторами** называются электронные устройства, преобразующие энергию источника постоянного тока в энергию переменного

*тока (электромагнитных колебаний) различной формы требуемой частоты и мощности.*

Генераторы применяются в радиовещании, медицине, радиолокации, входят в состав аналого-цифровых преобразователей, микропроцессорных систем и т. д.

Рассмотрим классификацию генераторов.

По форме выходных сигналов:

- ♦ синусоидальных сигналов;
- ♦ сигналов прямоугольной формы (мультивибраторы);
- ♦ сигналов линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) или их еще называют генераторами пилообразного напряжения;
- ♦ сигналов специальной формы.

По частоте генерируемых колебаний (условно):

- ♦ низкой частоты (до 100 кГц);
- ♦ высокой частоты (свыше 100 кГц).

По способу возбуждения:

- ♦ с независимым (внешним) возбуждением;
- ♦ с самовозбуждением (автогенераторы).

### Структура генераторов

Схемы генераторов (рис. 2.37) строятся по тем же схемам, что и усилители, только у генераторов нет источника входного сигнала, его заменяет сигнал положительной обратной связи (ПОС). Напоминаем, что **обратная связь** — это передача части выходного сигнала во входную цепь. Необходимая форма сигнала обеспечивается структурой цепи обратной связи. Для задания частоты колебаний цепи ОС строятся на LC или RC-цепях (частоту определяет время перезаряда конденсатора).

Сигнал, сформированный в цепи ПОС, поступает на вход усилителя, усиливается в  $K$  раз и поступает на выход. При этом часть сигнала с выхода возвращается на вход через цепь ПОС, где ослабляется в  $K$  раз, что позволяет поддерживать постоянную амплитуду выходного сигнала генератора.

**Генераторы с независимым внешним возбуждением.** Являются усилителями мощно-

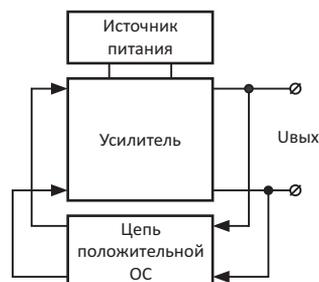


Рис. 2.37. Структурная схема генератора

сти с соответствующим частным диапазоном, на вход которых подается электрический сигнал от автогенератора. Т. е. происходит усиление только определенной полосы частот. Поэтому их также называют избирательные усилители.

**Генераторы RC-типа.** Для создания генераторов низкой частоты обычно используют операционные усилители, в качестве цепи ПОС устанавливают RC-цепи для обеспечения заданной частоты  $f_0$  синусоидальных колебаний. RC-цепи представляют собой частотные фильтры.



**Это полезно запомнить.**

**Частотные фильтры** — устройства, пропускающие сигналы в определенном диапазоне частот и не пропускающие сигналы вне этого диапазона.

При этом по цепи обратной связи на вход усилителя возвращается, а, значит, и усиливается только определенная частота или полоса частот.

На рис. 2.38 показаны основные типы частотных фильтров и их амплитудно-частотная характеристика (АЧХ). АЧХ показывает пропускную способность фильтра в зависимости от частоты.

**Типы фильтров:**

- ♦ фильтры нижних частот (ФНЧ);
- ♦ фильтры верхних частот (ФВЧ);
- ♦ полосовые частотные фильтры (ПЧФ);
- ♦ заграждающие частотные фильтры (ЗЧФ).

Фильтры характеризуются частотой среза  $f_c$ , выше либо ниже которой идет резкое ослабление сигнала. Полосовые и заграждающие

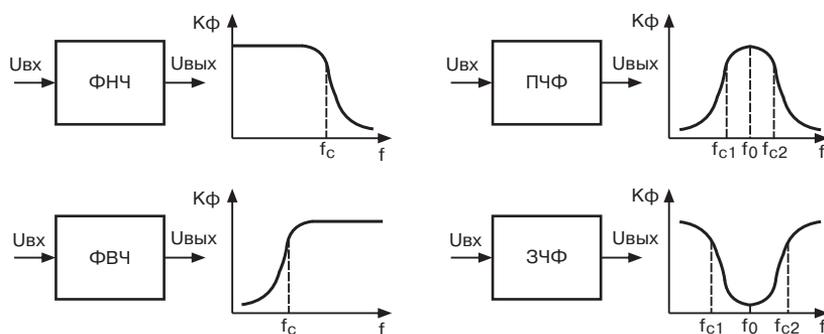


Рис. 2.38. Типы частотных фильтров и их амплитудно-частотная характеристика

фильтры характеризуются также шириной полосы пропускания у ПЧФ (непропускания у ЗЧФ).

На рис. 2.39 приведена схема синусоидального генератора. Необходимый коэффициент усиления задается с помощью цепи ООС на резисторах R1, R2. Для обеспечения сдвига по фазе равного 0, цепь ПОС подключена между выходом ОУ и его неинвертирующим входом. При этом цепь ПОС представляет собой полосу-вой фильтр. Частота резонанса  $f_0$  определяется по формуле:

$$f_0 = 1/(2\pi RC).$$

**Стабилизация частоты.** Для стабилизации частоты генерируемых колебаний в качестве частотодающей цепи используют **кварцевые резонаторы**. Кварцевый резонатор представляет собой тонкую пластину минерала, установленную в кварцедержателе.

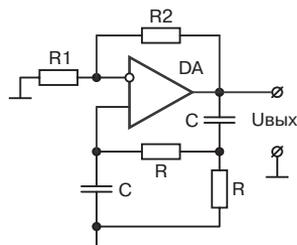


Рис. 2.39. Схема RC-генератора синусоидальных сигналов



#### Это интересно знать.

Как известно, кварц обладает пьезоэффектом, что позволяет использовать его как систему, эквивалентную электрическому колебательному контуру и обладающую резонансными свойствами.

Резонансные частоты кварцевых пластин лежат в пределах от нескольких единиц килогерц до тысяч мегагерц с нестабильностью частоты, обычно порядка  $10^{-8}$  и ниже.

**Мультивибраторы** — это генераторы сигналов прямоугольной формы. Мультивибратор, в подавляющем большинстве случаев, выполняет функцию задающего генератора, формирующего запускающие входные импульсы для последующих узлов и блоков в системе импульсного или цифрового действия. На рис. 2.40 приведена схема симметричного мультивибратора на ИОУ.

Симметричный — время прямоугольного импульса равно времени паузы  $t_{\text{имп}} = t_{\text{паузы}}$ .

ИОУ охвачен положительной обратной связью — цепь R1, R2, действующей одинаково на всех частотах. Напряжение на неинвертирующем входе постоянно. Оно зависит от сопротивления

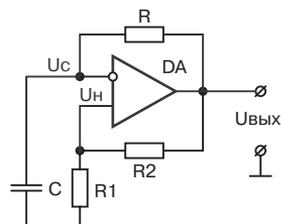


Рис. 2.40. Схема симметричного мультивибратора

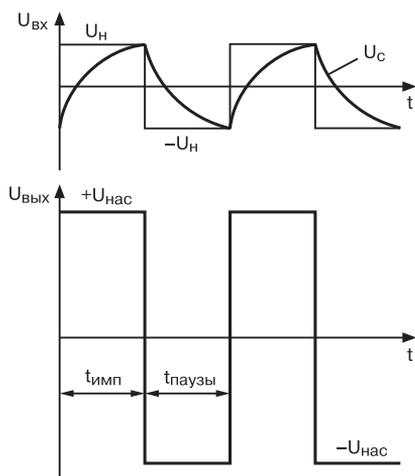


Рис. 2.41. Временные диаграммы работы мультивибратора

резисторов R1, R2. Входное напряжение мультивибратора формируется при помощи ООС через цепочку RC.

Уровень напряжения на выходе изменяется с  $+U_{нас}$  на  $-U_{нас}$ , и обратно.

Если напряжение выхода  $U_{вых} = +U_{нас}$ , конденсатор заряжается и напряжение  $U_с$ , действующее на инвертирующем входе, возрастает по экспоненциальному закону (рис. 2.41).

При равенстве  $U_н = U_с$  произойдет скачкообразное изменение выходного напряжения  $U_{вых} = -U_{нас}$ , что вызовет перезаряд конденсатора. При достижении равенства  $-U_н = -U_с$  снова произойдет изменение состояния  $U_{вых}$ . Процесс повторяется.

Изменение постоянной времени  $\tau$  RC-цепи приводит к изменению времени заряда и разряда конденсатора, а, значит, и частоты колебаний мультивибратора. Кроме того, частота зависит от параметров ПОС и определяется по формуле:

$$f = 1/T = 1/2t_{и} = 1/[2\tau I_{и}(1 + 2 R1/R2)].$$



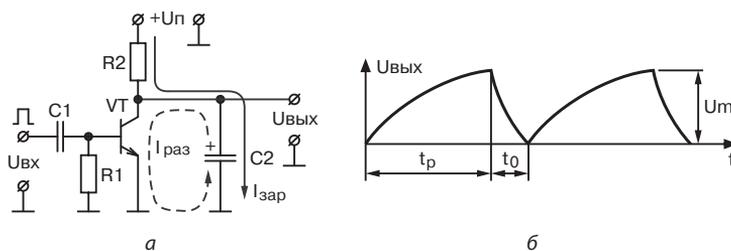
#### Это интересно знать.

При необходимости получить несимметричные прямоугольные колебания для  $t_{и} \neq t_{п}$  используют несимметричные мультивибраторы, в которых перезаряд конденсатора происходит по разным цепочкам с различными постоянными времени.

**Одновибраторы (ждущие мультивибраторы)** предназначены для формирования прямоугольного импульса напряжения требуемой длительности при воздействии на входе короткого запускающего импульса. Одновибраторы часто называют еще электронными реле выдержки времени.

**Генераторы линейно-изменяющихся напряжений (ГЛИН)** формируют периодические сигналы, изменяющиеся по линейному закону (пилообразные импульсы).

Пилообразные импульсы характеризуются длительностью рабочего хода  $t_p$ , длительностью обратного хода  $t_o$  и амплитудой  $U_m$  (рис. 2.42, б).



**Рис. 2.42.** Генератор линейно-изменяющегося напряжения  
*а* — простейшая схема; *б* — временная диаграмма импульсов пилообразной формы

Для создания линейной зависимости напряжения от времени чаще всего используют заряд (или разряд) конденсатора постоянным током. Простейшая схема ГЛИН приведена на рис. 2.42, *а*.

Когда транзистор *VT* закрыт, конденсатор *C2* заряжается от источника питания  $U_{\text{п}}$  через резистор *R2*. При этом напряжение на конденсаторе, а, значит, и на выходе линейно возрастает. При поступлении на базу положительного импульса транзистор открывается, и конденсатор быстро разряжается через его малое сопротивление, чем обеспечивается быстрое уменьшение выходного напряжения до нуля — обратный ход.

ГЛИН применяются в устройствах развертки луча в ЭЛТ, в аналого-цифровых преобразователях (АЦП) и других преобразовательных устройствах.

## 2.13. Логические устройства

### Алгебра логики

Для описания законов функционирования цифровых схем используется алгебра логики или булева алгебра.

В основу алгебры логики положено понятие «событие», которое может наступить, либо не наступить. Наступившее событие считается истинным и выражается уровнем логической «1», не наступившее событие считается ложным и выражается уровнем логического «0».

На событие влияют переменные, причем влияют по определенному закону. Этот закон называется логической функцией, а переменные — аргументами. Т. о. логической функцией является функция  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ,



Рис. 2.43. Логическое устройство

принимая значения «0» либо «1». Переменные  $x_1, x_2, \dots, x_n$  также имеют значения «0» либо «1».

Устройства, предназначенные для формирования функций алгебры логики, называются логическими устройствами. Логическое устройство имеет сколько угодно количество входов и только один выход (рис. 2.43).

Например, в состав электронного кодового замка входит логическое устройство, для которого событие ( $y$ ) — это открытие замка. Для того чтобы событие произошло ( $y = 1$ ), т. е. замок открылся, необходимо определить переменные — десять кнопок кодонабирателя с цифрами. Определенные кнопки должны быть нажаты, т. е. принять значение «1» и при этом нажаты в определенной последовательности — логическая функция.

Любую логическую функцию удобно представить в виде **таблицы состояний** (таблицы истинности), где записываются возможные комбинации переменных (аргументов) и соответствующее им значение функции.

### Логические элементы

Логические устройства строятся на логических элементах, которые реализуют определенную функцию. Базовыми логическими функциями являются логическое сложение, логическое умножение и логическое отрицание (рис. 2.44).

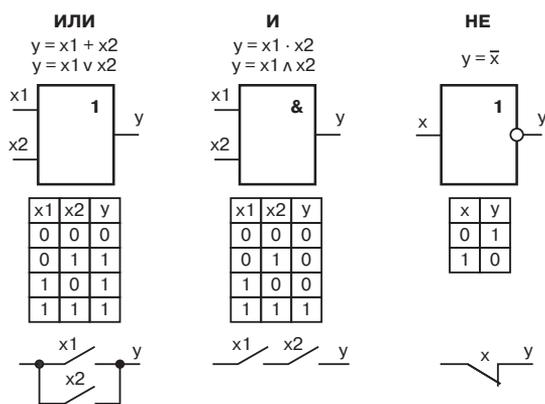


Рис. 2.44. Базовые логические функции и их реализация

**ИЛИ (OR) — логическое сложение** или дизъюнкция (от англ. disjunction — разъединение) — на выходе этого элемента появится логическая единица тогда, когда хотя бы на одном из входов появится единица. Логический ноль на выходе будет только тогда, когда на всех входах будет сигнал логического нуля.

Эту операцию можно реализовать с помощью контактной цепи с двумя параллельно включенными контактами. «1» на выходе такой цепи появится в том случае, если хотя бы один из контактов замкнут.

**И (AND)** — **логическое умножение** или конъюнкция (от англ. conjunction — соединение, & — амперсанд) — на выходе этого элемента сигнал логической единицы появляется только тогда, когда на всех входах будет присутствовать логическая единица. Если хотя бы на одном входе будет ноль, то и на выходе тоже будет ноль.

Эта операция может быть реализована контактной цепью, состоящей из последовательно включенных контактов.

**НЕ (NOT)** — **логическое отрицание** или инверсия, обозначается черточкой над переменной — операция выполняется над одной переменной  $x$  и значение  $y$  противоположно этой переменной.

Операция НЕ может быть осуществлена с помощью нормально замкнутого контакта электромагнитного реле: нет напряжения на обмотке реле ( $x = 0$ ) — контакт замкнут и на выходе «1» ( $y = 1$ ). При наличии напряжения на обмотке реле ( $x = 1$ ) контакт разомкнут и на выходе «0» ( $y = 0$ ).

В логических устройствах используются различные логические элементы. Особое значение имеют две универсальные логические операции, каждая из которых способна самостоятельно образовать любую логическую функцию: **И-НЕ** — функция Шеффера и **ИЛИ-НЕ** — функция Пирса (рис. 2.45).

Для примера рассмотрим схему охранной сигнализации на логических элементах (рис. 2.46). Генератор Г вырабатывает сигнал сирены, подавая его на усилительный каскад через логический элемент «И» на микросхеме DD2. При замкнутых состояниях охранных ключей S1 — S4 на входах элемента DD1 действует уровень «0» — на нижнем входе элемента «И» DD2 уровень «0», значит на затворе транзистора VT также «0».

В случае размыкания хотя бы одного из ключа, например S1, на вход элемента DD1 через резистор R1 поступит напряжение уровня «1», что приведет к появлению «1» на втором входе элемента «И»

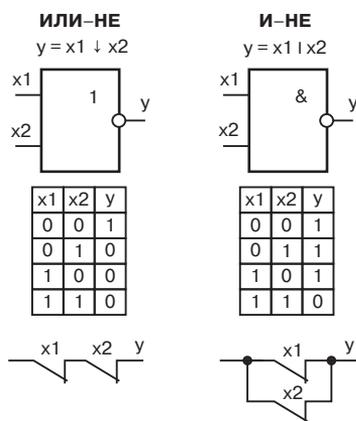


Рис. 2.45. Универсальные логические функции и их реализация

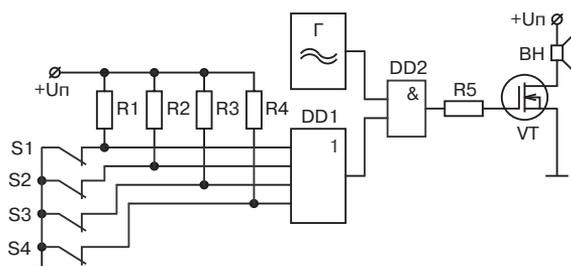


Рис. 2.46. Схема охранной сигнализации

DD1. Это позволит сигналу с генератора  $\Gamma$  поступать на затвор транзистора, в нагрузку которого стоит динамик.

## 2.14. Цифровые устройства

### Триггеры

Цифровые устройства строятся на логических элементах, поэтому подчиняются законам алгебры логики. Основными устройствами цифровой техники, наряду с логическими устройствами, являются триггеры.



**Это полезно запомнить.**

**Триггер** (англ. *trigger* — курок) — электронное устройство, обладающее двумя устойчивыми состояниями и способное скачком переходить из одного состояния в другое под воздействием внешнего импульса.

Каждому состоянию триггера соответствует определенный (высокий или низкий) уровень выходного напряжения:

- ♦ триггер установлен в единичное состояние — уровень «1».
- ♦ триггер сброшен в нуль — уровень «0» на выходе.

Установившееся состояние сохраняется сколь угодно долго и может быть изменено внешним импульсом или отключением напряжения питания. Т. о. триггер является элементарным элементом памяти, способным хранить наименьшую единицу информации (один бит) «0» или «1».

Триггеры могут быть построены на дискретных элементах, логических элементах, на ИМС или входят в состав ИМС.

К основным типам триггеров относят: **RS-, D-, T- и JK-триггеры**. Кроме того, триггеры делятся на **асинхронные** и **синхронные**. В асинхронных триггерах переключение из одного состояния в другое осуществляется непосредственно с поступлением сигнала на информационный вход. В тактируемых триггерах помимо информационных входов имеется вход тактовых импульсов. Их переключение производится только при наличии разрешающего, тактирующего импульса.

**RS-триггер** имеет минимум два входа:

- ♦ **S** (set — устанавливать) — производится установка триггера в состояние уровня «1»;
- ♦ **R** (reset) — сброс триггера в состояние уровня «0» (рис. 2.47).



Рис. 2.47. Условно-графическое обозначение RS-триггера и назначение выводов:  
а — асинхронный; б — синхронный

При наличии входа **С** триггер является **синхронным** — переключение триггера (изменение состояния выхода) может происходить только в момент прихода тактирующего (синхронизирующего) импульса на вход **С**.

Кроме прямого выхода, триггер может иметь также инверсный выход, сигнал на котором будет противоположным.

В табл. 2.2 представлены состояния, которые может принимать триггер в процессе работы. В таблице указаны значения входных сигналов **S** и **R** в некоторый момент времени  $t^n$  и состояние триггера (на прямом выходе) в следующий момент времени  $t^{n+1}$  после прихода очередных импульсов. На новое состояние триггера влияет также предыдущее состояние  $Q^n$ .

Т. о. если необходимо записать в триггер «1» — подаем импульс на вход **S**, если «0» — подаем импульс на вход **R**.

Комбинация  $S = 1, R = 1$  является запретной комбинацией, т. к. нельзя предугадать какое состояние установится на выходе.

Таблица состояний синхронного RS-триггера

Таблица 2.2

$Q^n$	предыдущее состояние $t^n$			$t^{n+1}$
	S	R	$Q^{n+1}$	
0	1	1	0	1
1	1	0	1	0
0	1	0	0	$Q^n = 0$
0	0	1	0	$Q^n = 0$
0	1	1	1	X

Работу триггера также можно рассмотреть с помощью временных диаграмм (рис. 2.48).

D-триггер (от англ. delay — задержка) имеет один информационный вход и тактируемый (синхронизирующий) вход (рис. 2.49). D-триггер запоминает и хранит на выходе Q сигнал, который был на информационном входе D в момент прихода тактового импульса C. Т. о. триггер хранит информацию, записанную при  $C = 1$  (табл. 2.3).

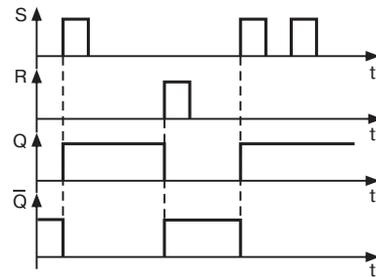


Рис. 2.48. Временные диаграммы работы асинхронного RS-триггера

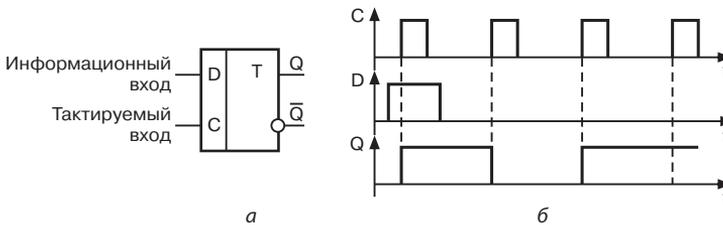


Рис. 2.49. D-триггер:

а — условно-графическое обозначение; б — временные диаграммы работы

Таблица состояний D-триггера

Таблица 2.3

$Q^n$	предыдущее состояние $t^n$		$t^{n+1}$
	D	C	$Q^{n+1}$
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	1	0
0	0	0	$Q^n = 0$

T-триггеры (от англ. tumble — опрокидываться), называемые также счетными триггерами, имеют один информационный вход T. Каждый

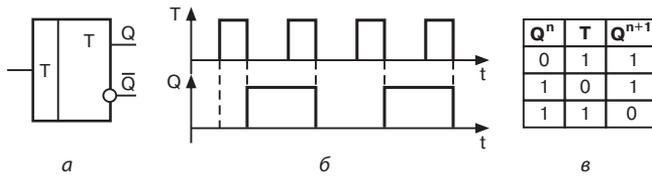


Рис. 2.50. Т-триггер:

а — условно-графическое обозначение; б — временные диаграммы работы;  
в — таблица состояний

импульс (спад импульса) на Т-входе (счетном входе) переключает триггер в противоположное состояние (рис. 2.50).

**JK-триггер** (от англ. jump — скачок, keep — держать) имеет два информационных входа J и K, и тактируемый вход С. Назначение выводов J и K аналогично назначению выводов R и S, но при этом триггер не имеет запретных комбинаций. Если  $J = K = 1$  он изменяет свое состояние на противоположное (рис. 2.51).

При соответствующем подключении входов, триггер может выполнять функции RS-, D-, Т-триггеров, т. е. является универсальным триггером.

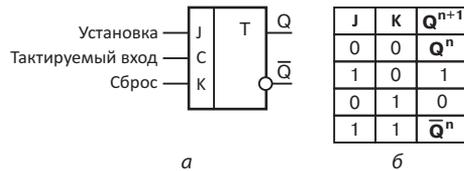


Рис. 2.51. JK-триггер:

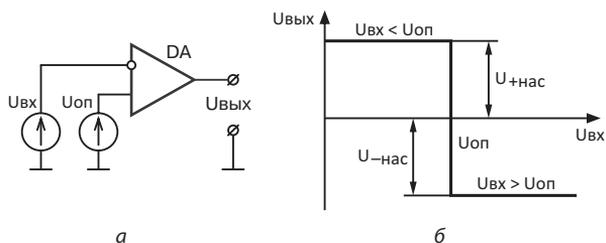
а — условно-графическое обозначение;  
б — сокращенная таблица состояний

## Компараторы

**Компаратор** (compare — сравнивать) — устройство, сравнивающее два напряжения — входное  $U_{вх}$  с опорным  $U_{оп}$ . Опорное напряжение представляет собой неизменное по величине напряжение положительной или отрицательной полярности, входное напряжение изменяется во времени. Простейшая схема компаратора на операционном усилителе приведена на рис. 2.52, а. Если  $U_{вх} < U_{оп}$  на выходе  $U_{+нас}$ , при  $U_{вх} > U_{оп}$  на выходе  $U_{-нас}$  (рис. 2.52, б).

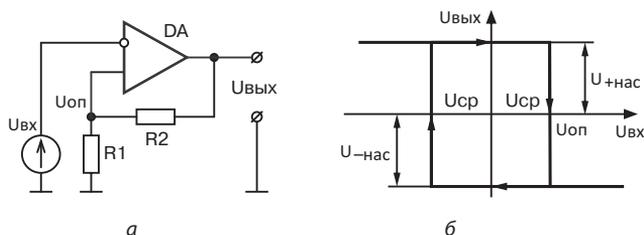
Компаратор с положительной обратной связью называется **триггером Шмитта** (рис. 2.53). Если у компаратора переключение с «1» на «0» и обратно происходит при одном и том же напряжении, то у триггера Шмитта — при разных напряжениях.

Опорное напряжение создает цепь ПОС R1R2, входной сигнал подается на инвертирующий вход ОУ.



**Рис. 2.52.** Компаратор на ОУ:  
а — простейшая схема; б — характеристика работы

На рис. 2.53, б, приведена передаточная характеристика триггера Шмитта. При отрицательном напряжении на инвертирующем входе ОУ  $U_{\text{вых}} = U_{+\text{нас}}$ . Значит, на неинвертирующем входе действует положительное напряжение. При увеличении входного напряжения в момент  $U_{\text{вх}} > U_{\text{неинв.}} (U_{\text{ср}})$  компаратор переключается в состояние  $U_{\text{вых}} = U_{-\text{нас}}$ . На неинвертирующем входе действует отрицательное напряжение. Соответственно при уменьшении входного напряжения в момент  $U_{\text{вх}} < U_{\text{неинв.}} (U_{\text{ср}})$  компаратор переключается в состояние  $U_{\text{вых}} = U_{+\text{нас}}$ .



**Рис. 2.53.** Триггер Шмитта на ОУ:  
а — простейшая схема; б — характеристика работы



### Пример.

На рис. 2.54 представлена релейно-контакторная схема управления электродвигателем, позволяющая выполнять его пуск, остановку и реверс.

Коммутацию электродвигателя выполняют магнитные пускатели КМ1, КМ2. Свободно замкнутые контакты КМ1, КМ2 предотвращают одновременное срабатывание магнитных пускателей. Свободно разомкнутые контакты КМ1, КМ2 обеспечивают самоблокировку кнопок SB2 и SB3.

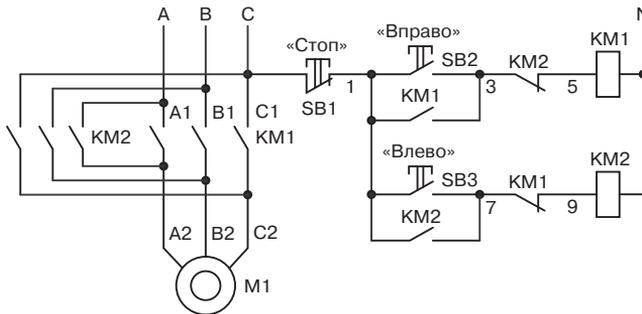


Рис. 2.54. Релейно-контакторная схема управления электродвигателем



### Это интересно знать.

Для повышения надежности работы требуется заменить релейно-контакторные цепи управления и силовые цепи на бесконтактную систему с использованием полупроводниковых приборов и устройств.

На рис. 2.55 представлена бесконтактная схема управления электродвигателем.

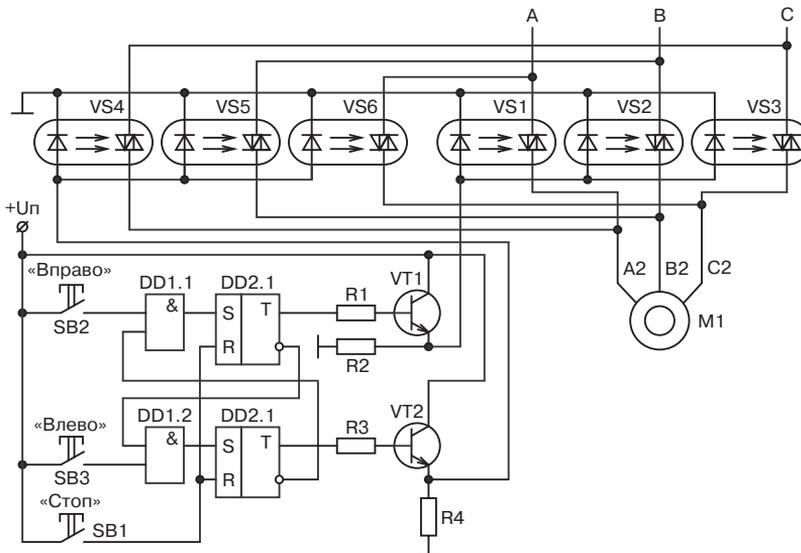


Рис. 2.55. Бесконтактная схема управления электродвигателем

Силовые контакты магнитных пускателей заменены оптосимистрами: KM1 — VS1-VS3, KM2 — VS4-VS6. Применение именно оптосимистров позволяет обеспечить изоляцию слаботочной цепи управления от мощной силовой цепи.

Триггеры обеспечивают самоблокировку кнопок SB2, SB3. Логические элементы И обеспечивают одновременное включение только одного из магнитных пускателей.

При открывании транзистора VT1 ток протекает через светодиоды первой группы оптосимистров VS1-VS3, обеспечивая тем самым протекание тока через обмотки электродвигателя. Открывание транзистора VT2 запитывает вторую группу оптосимистров VS4-VS6, обеспечивая вращение электродвигателя в другую сторону.

## Регистры

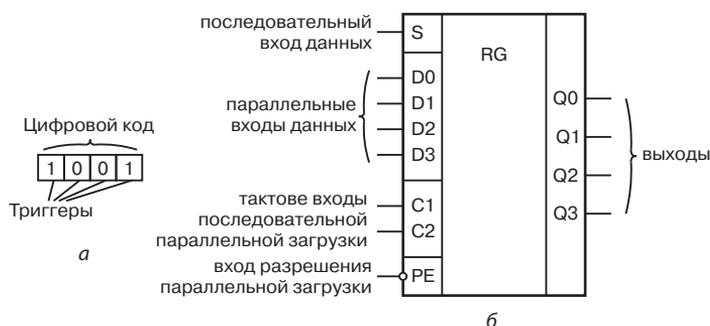


**Это полезно запомнить.**

**Регистр** — электронное устройство, предназначенное для кратковременного хранения и преобразования многоразрядных двоичных чисел.

Регистр состоит из триггеров, количество которых определяет, сколько разрядов двоичного числа может хранить регистр — разрядность регистра (рис. 2.56, а). Для организации работы триггеров могут быть использованы логические элементы.

По способу ввода и вывода информации регистры подразделяются на параллельные и последовательные.



**Рис. 2.56.** Регистр:

а — общее представление; б — условно-графическое обозначение

В последовательном регистре триггеры соединены последовательно, т. е. выходы предыдущего триггера передают информацию на входы последующего. Тактовые входы  $S$  триггеров соединены параллельно. Такой регистр имеет один информационный вход и вход управления — тактовый вход  $C$ .

В параллельном регистре запись в триггеры происходит одновременно, для чего имеется четыре информационных входа.

На рис. 2.56, б представлено УГО и назначение выводов четырехразрядного параллельно-последовательного регистра.

### Счетчики



**Это полезно запомнить.**

*Счетчик импульсов — электронное устройство, предназначенное для подсчета числа импульсов, поданных на вход. Количество поступивших импульсов выражается в двоичной системе счисления.*

Счетчики импульсов являются разновидностью регистров (счетные регистры) и строятся, соответственно, на триггерах и логических элементах.

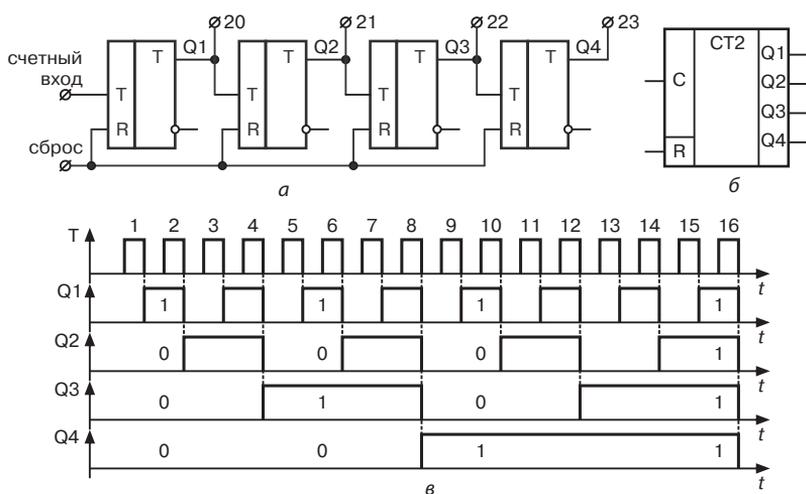
Основными показателями счетчиков являются коэффициент счета  $K$   $2^n$  — число импульсов, которое может быть сосчитано счетчиком.

Например, счетчик, состоящий из четырех триггеров, может иметь максимальный коэффициент счета  $2^4 = 16$ . Для четырехтриггерного счетчика минимальный выходной код — 0000, максимальный — 1111, а при коэффициенте счета  $K_c = 10$  выходной счет останавливается при коде  $1001 = 9$ .

На рис. 2.57, а представлена схема четырехразрядного счетчика на  $T$ -триггерах, соединенных последовательно. Счетные импульсы подаются на счетный вход первого триггера. Счетные входы последующих триггеров связаны с выходами предыдущих триггеров.

Работу схемы иллюстрируют временные диаграммы, приведенные на рис. 2.57, в. При поступлении первого счетного импульса, по его спаду, первый триггер переходит в состояние  $Q_1 = 1$ , т. е. в счетчике записан цифровой код 0001. По окончании второго счетного импульса первый триггер переходит в состояние «0», а второй переключается в состояние «1». В счетчике записывается число 2 с кодом 0010.

Из диаграммы (рис. 2.57, в) видно, что, например, по спаду 5-го импульса в счетчике записан код 0101, по 9-му — 1001 и т. п. По



**Рис. 2.57.** Двоичный четырехразрядный счетчик:  
 а — схема; б — условно-графическое обозначение; в — временные диаграммы работы

окончании 15-го импульса все разряды счетчика устанавливаются в состояние «1», а по спаду 16-го импульса все триггеры обнуляются, т. е. счетчик переходит в исходное состояние. Для принудительного обнуления счетчика имеется вход «сброс».

Коэффициент счета двоичного счетчика находят из соотношения  $K_{\text{сч}} = 2^n$ , где  $n$  — число разрядов (триггеров) счетчика.

Подсчет числа импульсов является наиболее распространенной операцией в устройствах цифровой обработки информации.



#### Это интересно знать.

В процессе работы двоичного счетчика частота следования импульсов на выходе каждого последующего триггера уменьшается вдвое по сравнению с частотой его входных импульсов (рис. 2.57, в). Поэтому счетчики применяют также в качестве **делителей частоты**.

## Шифраторы и дешифраторы

**Шифратор** (называемый также кодером) осуществляет преобразование сигнала в цифровой код, чаще всего десятичных чисел в двоичную систему счисления.

В шифраторе имеется  $m$  входов, последовательно пронумерованных десятичными числами (0, 1, 2, ...,  $m - 1$ ), и  $n$  выходов. Число входов и выходов определяются зависимостью  $2^n = m$  (рис. 2.58, а). Символ «CD» образован из букв, входящих в английское слово Coder.

Подача сигнала на один из входов приводит к появлению на выходах  $n$ -разрядного двоичного числа, соответствующего номеру входа. Например, при подаче импульса на 4-й вход на выходах возникает цифровой код 100 (рис. 2.58, а).

Для обратного преобразования двоичных чисел в небольшие по значению десятичные числа используются дешифраторы (называемые также декодерами). Входы дешифратора (рис. 2.58, б) предназначены для подачи двоичных чисел, выходы последовательно нумеруются десятичными числами. При подаче на входы двоичного числа появляется сигнал на определенном выходе, номер которого соответствует входному числу. Например, при подаче кода 110, сигнал появится на 6-м выходе.

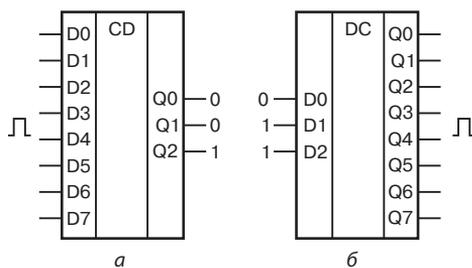


Рис. 2.58. Условно-графическое обозначение:  
а — шифратора; б — дешифратора

## Мультиплексоры



**Это полезно запомнить.**

**Мультиплексор** — устройство, в котором выход соединяется с одним из входов, в соответствии с кодом адреса.

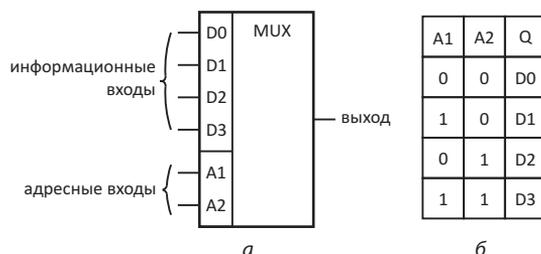


Рис. 2.59. Мультиплексор:  
а — условно-графическое обозначение; б — таблица состояний

Т. о. мультиплексор представляет собой электронный переключатель или коммутатор.

На входы А1, А2 подается код адреса, определяющий, какой из входов сигналов будет передан на выход устройства (рис. 2.59).

### АЦП и ЦАП

Для преобразования информации из цифровой формы в аналоговую применяют **цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП)**, а для обратного преобразования — **аналого-цифровые преобразователи (АЦП)**.

Входной сигнал ЦАП — двоичное многоразрядное число, а выходной — напряжение  $U_{\text{вых}}$ , формируемое на основе опорного напряжения.

Процедура аналого-цифрового преобразования (рис. 2.60) состоит из двух этапов: **дискретизации по времени** (выборки) и **квантования по уровню**. Процесс дискретизации состоит из измерения значений непрерывного сигнала только в дискретные моменты времени.

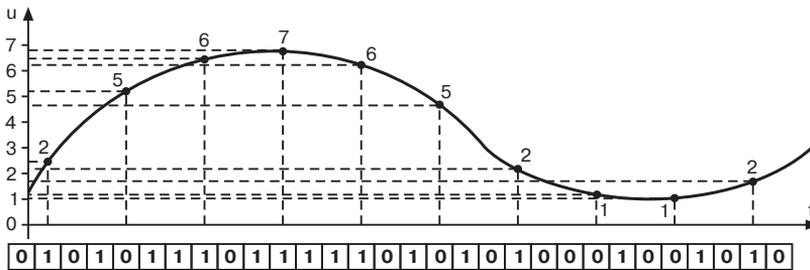


Рис. 2.60. Процесс аналого-цифрового преобразования

Для квантования диапазон изменения входного сигнала подразделяется на равные интервалы — уровни квантования. В нашем примере их восемь, но обычно их намного больше. Операция квантования сводится к определению того интервала, в который попало дискретизированное значение и к присваиванию выходному значению цифрового кода.

## 2.15. Преобразовательные устройства

### Зачем нужно преобразование переменного тока в постоянный

Преобладающая часть электрической энергии производится на электростанциях вращающимися электрическими машинами, которые генерируют трехфазное переменное напряжение частотой 50 Гц. Переменный ток находит широчайшее применение на промышленных предприятиях, в сельском хозяйстве и быту.

Однако в ряде важных областей техники применяется энергия постоянного тока: двигатели постоянного тока на промышленных предприятиях и в электрифицированном транспорте, электролизные установки, устройства для зарядки аккумуляторных батарей, источники питания электронной аппаратуры и др.

Кроме того, все более широкое применение получает переменный ток частотой более 50 Гц для питания асинхронных электродвигателей, электроинструмента и др. Применение повышенной частоты позволяет значительно снизить массу электромагнитных устройств: трансформаторов, электродвигателей и др.

Указанные факторы обуславливают необходимость преобразования переменного тока в постоянный, преобразования постоянного тока в переменный, изменения частоты переменного тока. Для решения данных задач используются преобразовательные устройства.

### Источники питания

Источники питания предназначены для создания напряжений и токов, необходимых для питания электрических устройств.

Источники питания относятся к **силовой электронике** — устройствам, в которых электронные приборы используются для управления и преобразования электроэнергии.

Различают первичные и вторичные источники питания. **Первичные** — непосредственно преобразуют какой-либо вид энергии (механическую, внутреннюю, химическую, тепловую, солнечную и т. д.) в электрическую. К первичным источникам относятся турбогенераторы, химические источники тока (батареи, аккумуляторы), термопары, солнечные батареи и др.

**Вторичные источники** питания осуществляют преобразование энергии первичного источника в необходимые величины питающего

напряжения (тока). В стационарной аппаратуре источником чаще всего является сеть переменного тока напряжением 220 В, в переносной — химические источники тока.

Функциональная схема источника питания классического типа показана на рис. 2.61.



Рис. 2.61. Функциональная схема источника питания

Трансформатор Т служит для преобразования переменного напряжения  $U_1$  сети в необходимое напряжение  $U_2$  и, кроме того, для гальванической развязки источника питания от сети.

Выпрямитель, состоящий из выпрямительных диодов, преобразует переменное напряжение  $U_2$  в постоянное пульсирующее напряжение  $U_3$ , а сглаживающий фильтр (СФ) преобразует его в постоянное напряжение  $U_4$  с небольшими пульсациями. Стабилизатор напряжения предназначен для окончательного сглаживания пульсаций, а также создания напряжения на нагрузке, которое мало зависит от напряжения  $U_1$  сети и тока  $I_n$  нагрузки.

Для защиты выпрямителя в его схему может входить блок защиты и сигнализации. В некоторых случаях в схеме выпрямителя могут отсутствовать отдельные элементы, например, фильтр при работе выпрямителя на нагрузку индуктивного характера или силовой трансформатор в случае бестрансформаторного включения выпрямителя.

В импульсных источниках происходит несколько преобразований: выпрямление сетевого напряжения, преобразование его в импульсы высокой частоты, трансформация и вторичное выпрямление. Повышение частоты дает ряд существенных преимуществ.



**Это полезно запомнить.**

**Выпрямителем** называется электронное устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии переменного тока в постоянный.

В основе выпрямителей лежат полупроводниковые приборы с односторонней проводимостью — диоды и тиристоры.

Выпрямители классифицируются:

- ♦ по числу фаз первичной обмотки трансформатора — однофазные и трехфазные;
- ♦ по числу выпрямленных полупериодов — однополупериодные и двухполупериодные;
- ♦ по принципу регулирования выпрямленного напряжения — управляемые и неуправляемые;
- ♦ по мощности — малой (до сотен ватт), средней (до 5 кВт), большой (свыше 5 кВт).

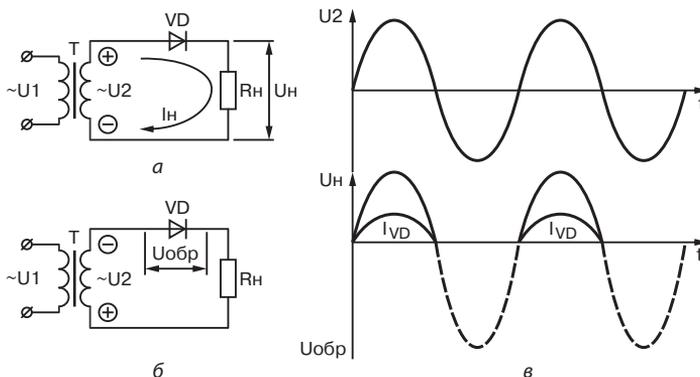
### Однофазные выпрямители

При небольшой мощности нагрузки (до нескольких сотен ватт) преобразование переменного тока в постоянный осуществляют с помощью однофазных выпрямителей. Такие выпрямители предназначены для питания постоянным током различных электронных устройств, обмоток возбуждения двигателей постоянного тока и т. д.

Для упрощения понимания работы схем выпрямления будем исходить из расчета, что выпрямитель работает на активную нагрузку.

На рис. 2.62 представлена простейшая однофазная однополупериодная (однотактная) схема выпрямления. Схема содержит один выпрямительный диод, включенный между вторичной обмоткой трансформатора и нагрузкой.

Напряжение  $u_2$  изменяется по синусоидальному закону, т. е. содержит положительные и отрицательные полуволны (полупериоды). Ток в цепи нагрузки проходит только в положительные полупериоды,



**Рис. 2.62.** Однофазный однополупериодный выпрямитель  
 а — диод открыт; б — диод закрыт; в — временные диаграммы работы

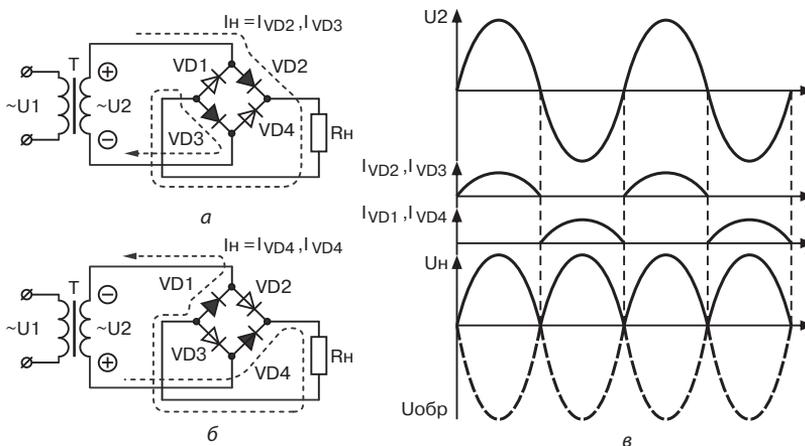
когда к аноду диода VD прикладывается положительный потенциал (рис. 2.62, а). При обратной полярности напряжения  $u_2$  диод закрыт, ток в нагрузке не протекает, но к диоду прикладывается обратное напряжение  $U_{обр}$  (рис. 2.62, б).

Т. о. на нагрузке выделяется только одна полуволна напряжения вторичной обмотки. Ток в нагрузке протекает только в одном направлении и представляет собой выпрямленный ток, хотя носит пульсирующий характер (рис. 2.62, в). Такую форму напряжения (тока) называют постоянно-импульсная.

Выпрямленные напряжения и ток содержат постоянную (полезную) составляющую и переменную составляющую (пульсации). Качественная сторона работы выпрямителя оценивается соотношениями между полезной составляющей и пульсациями напряжения и тока. Коэффициент пульсаций данной схемы составляет 1,57. Среднее за период значение выпрямленного напряжения  $U_H = 0,45U_2$ . Максимальное значение обратного напряжения на диоде  $U_{обр.max} = 3,14U_H$ .

Достоинством данной схемы является простота, недостатки: плохое использование трансформатора, большое обратное напряжение на диоде, большой коэффициент пульсации выпрямленного напряжения.

Однофазная мостовая схема выпрямления состоит из четырех диодов, включенных по мостовой схеме. В одну диагональ моста включается вторичная обмотка трансформатора, в другую — нагрузка



**Рис. 2.63.** Однофазный мостовой выпрямитель  
а — схема, выпрямление положительной полуволны; б — схема, выпрямление отрицательной полуволны; в — временные диаграммы работы

(рис. 2.63). Общая точка катодов диодов VD2, VD4 является положительным полюсом выпрямителя, общая точка анодов диодов VD1, VD3 — отрицательным полюсом.

Полярность напряжения во вторичной обмотке меняется с частотой питающей сети. Диоды в этой схеме работают парами поочередно. В положительный полупериод напряжения  $u_2$  проводят ток диоды VD2, VD3, а к диодам VD1, VD4 прикладывается обратное напряжение, и они закрыты. В отрицательный полупериод напряжения  $u_2$  ток протекает через диоды VD1, VD4, а диоды VD2, VD3 закрыты. Ток в нагрузке проходит все время в одном направлении.

Схема является двухполупериодной (двухтактной), т. к. на нагрузке выделяется оба полупериода сетевого напряжения.  $U_H = 0,9U_2$ , коэффициент пульсаций — 0,67.

Использования мостовой схемы включения диодов позволяет для выпрямления двух полупериодов использовать однофазный трансформатор. Кроме того, обратное напряжение, прикладываемое к диоду в 2 раза меньше.

### Трехфазные выпрямители

Питание постоянным током потребителей средней и большой мощности производится от трехфазных выпрямителей, применение которых снижает загрузку диодов по току и уменьшает коэффициент пульсаций.

Трехфазная мостовая схема выпрямления состоит из шести диодов, которые разделены на две группы (рис. 2.64, а): катодную — диоды

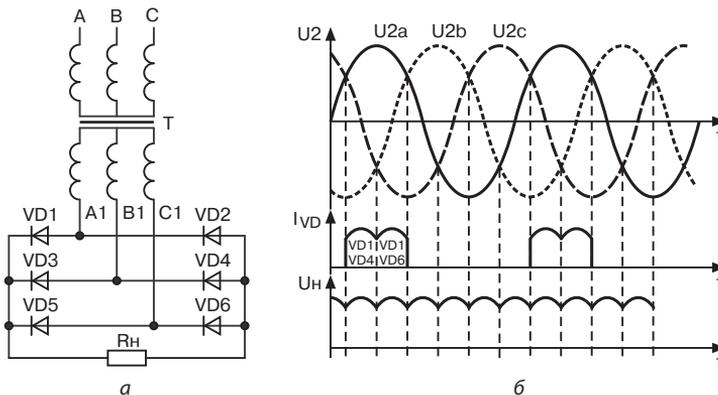


Рис. 2.64. Трехфазный мостовой выпрямитель:  
а — схема; б — временные диаграммы работы

VD1, VD3, VD5 и анодную VD2, VD4, VD6. Нагрузка подключается между точками соединения катодов и анодов диодов, т. е. к диагонали выпрямительного моста. Схема подключается к трехфазной сети.

В каждый момент времени ток нагрузки протекает через два диода. В катодной группе в течение каждой трети периода работает диод с наиболее высоким потенциалом анода (рис. 2.64, б). В анодной группе в данную часть периода работает тот диод, у которого катод имеет наиболее отрицательный потенциал. Каждый из диодов работает в течение одной трети периода. Коэффициент пульсаций данной схемы составляет всего 0,057.

### Управляемые выпрямители



**Это полезно запомнить.**

*Управляемыми выпрямителями называются выпрямители, которые совместно с выпрямлением переменного напряжения (тока) обеспечивают регулирование величины выпрямленного напряжения (тока).*

Управляемые выпрямители применяют для регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока, яркости свечения ламп накаливания, при зарядке аккумуляторных батарей и т. п.



**Это интересно знать.**

*Схемы управляемых выпрямителей строятся на тиристорах и основаны на управлении моментом открытия тиристором.*

На рис. 2.65, а представлена схема однофазного управляемого выпрямителя. Для возможности выпрямления двух полуволн сетевого напряжения используется трансформатор с двухфазной вторичной обмоткой, в которой формируется два напряжения с противоположными фазами. В каждую фазу включается тиристор. Положительный полупериод напряжения  $U_2$  выпрямляет тиристор VS1, отрицательный — VS2.

Схема управления СУ формирует импульсы для открывания тиристором. Время подачи открывающих импульсов определяет, какая часть полуволны выделяется на нагрузке. Тиристор отпирается при наличии положительного напряжения на аноде и открывающего импульса на управляющем электроде.

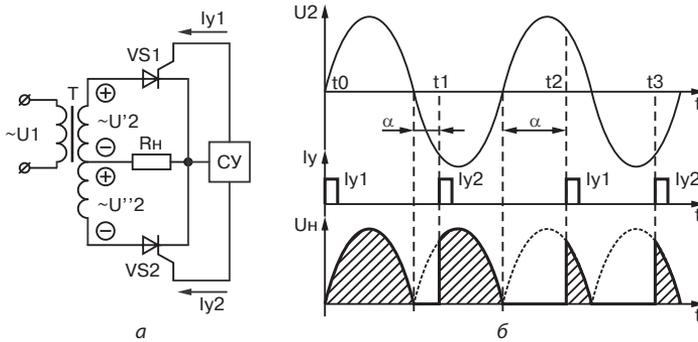


Рис. 2.65. Трехфазный мостовой выпрямитель:  
а — схема; б — временные диаграммы работы

Если импульс приходит в момент времени  $t_0$  (рис. 2.65, б) тиристор открыт в течение всего полупериода и на нагрузке максимальное напряжение, если в моменты времени  $t_1, t_2, t_3$ , то только часть сетевого напряжения выделяется в нагрузку.

Угол задержки, отсчитываемый от момента естественного отпирания тиристора, выраженный в градусах, называется **углом управления** или регулирования и обозначается буквой  $\alpha$ . Изменяя угол  $\alpha$  (сдвиг по фазе управляющих импульсов относительно напряжения на анодах тиристоров), мы изменяем время открытого состояния тиристоров и соответственно выпрямленное напряжение на нагрузке.

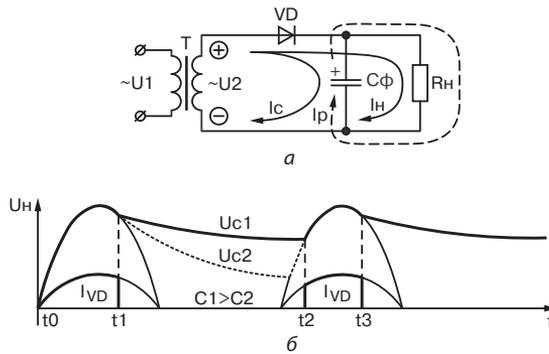
### Сглаживающие фильтры

Сглаживающие фильтры предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения. Сглаживание пульсаций оценивают коэффициентом сглаживания  $q$ .

Основными элементами сглаживающих фильтров являются конденсаторы, катушки индуктивности и транзисторы, сопротивление которых различно для постоянного и переменного токов.

В зависимости от типа фильтрующего элемента различают емкостные, индуктивные и электронные фильтры. По количеству фильтрующих звеньев фильтры делятся на однозвенные и многозвенные.

**Емкостной фильтр** представляет собой конденсатор большой емкости, который включается параллельно нагрузочному резистору  $R_H$ . Конденсатор обладает большим сопротивлением постоянному току и малым сопротивлением переменному току. Рассмотрим работу фильтра на примере схемы однополупериодного выпрямителя (рис. 2.66, а).



**Рис. 2.66.** Однофазный однополупериодный выпрямитель с емкостным фильтром:  
а — схема; б — временные диаграммы работы

При протекании положительной полуволны во временном промежутке  $t_0-t_1$  (рис. 2.66, б) протекает ток нагрузки (ток диода) и ток заряда конденсатора. Конденсатор заряжается, и в момент времени  $t_1$  напряжение на конденсаторе превышает спадающее напряжение вторичной обмотки — диод закрывается и во временной промежутке  $t_1-t_2$  ток в нагрузке обе-

спечивается разрядом конденсатора. Это значительно уменьшает пульсации выпрямленного напряжения, и ток в нагрузке протекает постоянно.

Чем больше емкость конденсатора  $C_\phi$ , тем меньше пульсаций. Это определяется временем разряда конденсатора — постоянной времени разряда  $\tau = C_\phi R_n$ .

При  $\tau > 10$  коэффициент сглаживания определяется по формуле

$$q = 2\pi f_c m C_\phi R_n,$$

где  $f_c$  — частота сети;

$m$  — число полупериодов выпрямленного напряжения.



#### Это интересно знать.

Емкостный фильтр целесообразно применять с высокоомным нагрузочным резистором  $R_n$  при небольших мощностях нагрузки.

### Индуктивный фильтр

Индуктивный фильтр (дроссель) включается последовательно с  $R_n$  (рис. 2.67, а). Индуктивность обладает малым сопротивлением постоянному току и большим — переменному. Сглаживание пульсаций основывается на явлении самоиндукции, которая изначально препятствует нарастанию тока, а затем поддерживает его при уменьшении (рис. 2.67, б).

Индуктивные фильтры применяют в выпрямителях средней и большой мощностей, т. е. в выпрямителях, работающих с большими токами нагрузки.

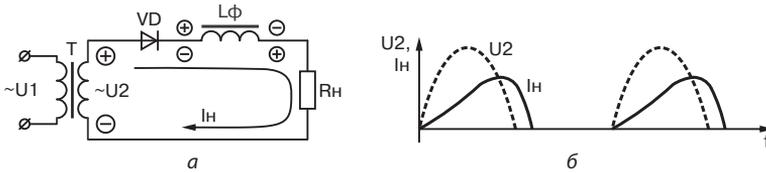


Рис. 2.67. Однофазный однополупериодный выпрямитель с индуктивным фильтром: а — схема; б — временные диаграммы работы

Коэффициент сглаживания определяется по формуле:

$$q = 2\pi f_c m L_\phi / R_n.$$



**Это интересно знать.**

Работа емкостного и индуктивного фильтра основана на том, что во время протекания тока, потребляемого из сети, конденсатор и катушка индуктивности запасают энергию, а когда тока от сети нет, либо он уменьшается, элементы отдают накопленную энергию, поддерживая ток (напряжение) в нагрузке.

### Многосвязные фильтры

Используют сглаживающие свойства и конденсаторов и катушек индуктивности. В маломощных выпрямителях, у которых сопротивление нагрузочного резистора составляет несколько килоом, вместо дросселя  $L_\phi$  включают резистор  $R_\phi$ , что существенно уменьшает массу и габариты фильтра.

На рис. 2.68 представлены типы многосвязных LC- и RC-фильтров.

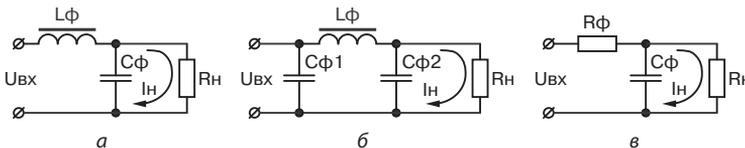


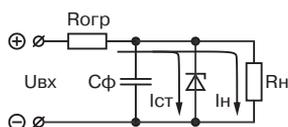
Рис. 2.68. Многосвязные фильтры: а — Г-образный LC; б — П-образный LC; в — RC-фильтр

### Электронные стабилизаторы

Предназначены для стабилизации постоянного напряжения (тока) на нагрузке при колебаниях сетевого напряжения и изменении потребляемого нагрузкой тока.

Стабилизаторы подразделяются на стабилизаторы напряжения и тока, а также на параметрические и компенсационные. Стабильность выходного напряжения оценивают коэффициентом стабилизации  $K_{ст}$ .

**Параметрический стабилизатор** основан на использовании элемента с нелинейной характеристикой — полупроводникового стабилитрона. Напряжение на стабилитроне почти постоянно при значительном изменении обратного тока через прибор.



**Рис. 2.69.**  
Параметрический стабилизатор

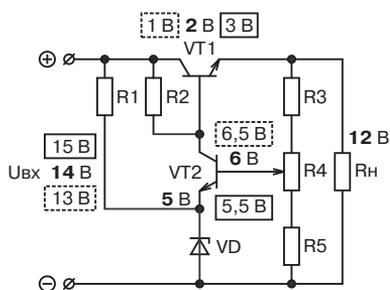
Схема параметрического стабилизатора приведена на рис. 2.69. Входное напряжение  $U_{вх}$  распределяется между ограничивающим резистором  $R_{огр}$  и параллельно включенными стабилитроном  $VD$  и резистором нагрузки  $R_н$ .

При увеличении входного напряжения ток через стабилитрон увеличится, значит, увеличится ток через ограничивающий резистор, и на нем будет происходить большее падение напряжения, а напряжение нагрузки останется неизменным.

Параметрический стабилизатор имеет  $K_{ст}$  порядка 20—50. Недостатками такого типа стабилизаторов являются малые токи стабилизации и низкий КПД.

Параметрические стабилизаторы применяют в качестве вспомогательных опорных источников напряжения, а также когда ток нагрузки невелик — не более сотен миллиампер.

**Компенсационный стабилизатор** использует в качестве ограничивающего резистора переменное сопротивление транзистора. С ростом входного напряжения возрастает и сопротивление транзистора, соответственно с уменьшением напряжения уменьшается сопротивление. При этом напряжение на нагрузке остается неизменным.



**Рис. 2.70.** Схема компенсационного стабилизатора напряжения

Схема стабилизатора на транзисторах представлена на рис. 2.70. Принцип регулирования выходного напряжения  $U_{RH}$  основан на изменении проводимости регулирующего транзистора  $VT1$ .

На транзисторе  $VT2$  собрана схема сравнения напряжений и усилитель постоянного тока. В цепь его базы включена измерительная цепь  $R3, R4, R5$ , в цепь эмиттера — источник опорного напряжения  $R1VD$ .

Например, при увеличении входного напряжения, выходное также возрастет, что приведет к росту напряжения на базе транзистора VT2, в тоже время потенциал эмиттера VT2 останется прежним. Это приведет к увеличению тока базы, а значит и тока коллектора транзистора VT2 — потенциал базы транзистора VT1 уменьшится, транзистор слегка прикроется, и на нем будет происходить большее падение напряжения, а выходное напряжение останется неизменным.

При использовании переменного резистора в базовой цепи транзистора VT2 можно изменять напряжение на его базе, а значит регулировать выходное напряжение.

На сегодняшний день стабилизаторы выпускают в виде интегральных схем. Типовая схема включения интегрального стабилизатора изображена на рис. 2.71.

Обозначение выводов микросхемы стабилизатора: «IN» — вход, «OUT» — выход, «GND» — общий (корпус). Если стабилизатор регулируемый, то имеется вывод «ADJ» — регулировка.

Выбор стабилизатора производится исходя из значения выходного напряжения, максимального тока нагрузки и диапазона изменения входного напряжения.

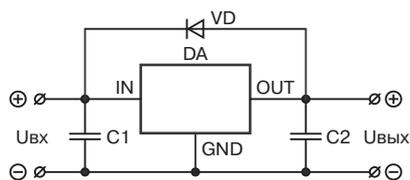


Рис. 2.71. Типовая схема включения интегрального стабилизатора напряжения

## Инверторы



**Это полезно запомнить.**

**Инвертор** — это устройство преобразования энергии постоянного тока в энергию переменного тока, т. е. реализующее процесс обратный выпрямлению.

Основными элементами инверторов являются коммутирующие приборы, которые периодически прерывают ток или изменяют его направление. Инверторы строятся на транзисторах или тиристорах. Инверторы входят в состав преобразователей частоты.



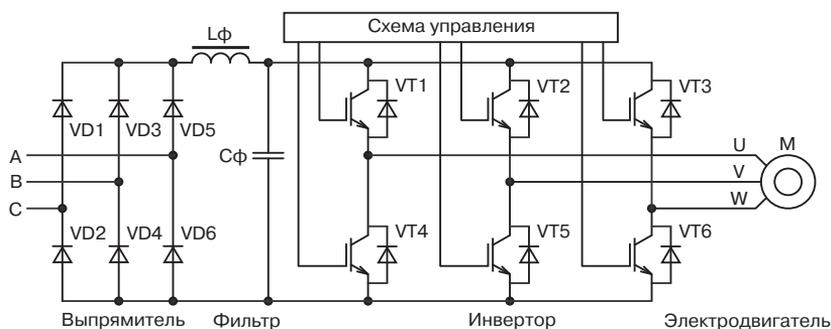
**Это полезно запомнить.**

**Преобразователь частоты** — это вторичный источник питания, вырабатывающий переменный электрический ток с частотой, отличной от частоты тока исходного источника.

**Преобразователь частоты** строится по схеме двойного преобразования: переменное напряжение (обычно сетевое) выпрямляется, а затем снова преобразуется в переменное, но уже другой частоты.

Наибольшее применение преобразователи получили в частотно-регулируемом электроприводе для плавного регулирования скорости асинхронного двигателя за счет создания на выходе преобразователя трехфазного напряжения переменной частоты. В электроприводе данные устройства называют **частотный преобразователь** или **инвертор**.

На **рис. 2.72** представлена схема частотного преобразователя. Переменное напряжение промышленной сети выпрямляется трехфазной мостовой схемой и фильтруется LC-фильтром. Постоянное напряжение подается на схему инвертора, собранную на шести IGBT транзисторах с диодами, включенными для защиты транзисторов от пробоя напряжением обратной полярности, возникающем при работе с обмотками двигателя. Транзисторы работают в ключевом режиме попарно (один верхний, другой нижний), открываясь с частой, задаваемой схемой управления. В схеме используется широтно-импульсное управление, позволяющее создать в обмотках статора электродвигателя синусоидальный ток необходимой частоты и амплитуды.



**Рис. 2.72.** Схема частотного преобразователя

### Импульсные источники питания

**Импульсный источник** питания строится по тому же принципу, что и преобразователь частоты, но с добавлением на выходе второго выпрямителя для получения постоянного напряжения.

Рассмотрим структурную схему однофазного импульсного источника (**рис. 2.73**).

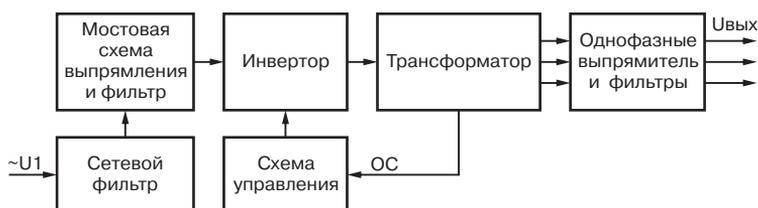


Рис. 2.73. Схема однофазного импульсного источника

На входе устанавливают фильтр, для защиты общей сети от импульсных помех, вырабатываемых при работе инвертора. Мостовая схема выпрямления выпрямляет сетевое напряжение, которое после фильтрации поступает на электронный ключ (транзистор), выполняющий функцию инвертора. Транзистором управляет схема управления посредством ШИМ. Инвертор преобразует постоянное напряжение в прямоугольные импульсы повышенной частоты и определенной длительности, которые подаются на трансформатор. Трансформатор формирует необходимую величину напряжения (напряжений), которое снова выпрямляется, обычно однофазным выпрямителем.

В импульсных источниках стабилизация выходного напряжения обеспечивается посредством обратной связи. В зависимости от величины обратной связи изменяется длительность импульсов, подаваемых на транзистор инвертора.



#### Это интересно знать.

Повышение частоты позволяет значительно уменьшить габариты трансформатора и снизить требования к сглаживающим фильтрам. Использование ключевого режима работы транзистора обеспечивает высокий КПД.

## 2.16. Электрические датчики

### Определение

Автоматизация различных технологических процессов, управление различными машинами, механизмами требуют многочисленных измерений разнообразных физических величин. Информацию о параметрах контролируемой системы или устройства получают с помощью датчиков или по-другому сенсоров.

**Это полезно запомнить.**

**Датчик** — это устройство, преобразующее входное воздействие любой физической величины в сигнал, удобный для дальнейшего использования (чаще всего в электрический сигнал).

Т. о. датчики преобразуют любимую величину в электрический сигнал, который удобно передавать, обрабатывать, выводить на дисплей и т. п.

### Классификация датчиков

Используемые датчики весьма разнообразны и могут быть классифицированы по различным признакам.

В зависимости от вида входной (измеряемой) величины различают: датчики механических перемещений (линейных и угловых), пневматические, электрические, расходомеры, датчики скорости, ускорения, усилия, температуры, давления и др.

В настоящее время существует приблизительно следующее распределение доли измерений различных физических величин в промышленности: температура — 50%, расход (массовый и объемный) — 15%, давление — 10%, уровень — 5%, количество (масса, объем) — 5%, время — 4%, электрические и магнитные величины — менее 4%.

По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина, различают неэлектрические и электрические датчики. Большинство датчиков являются электрическими.

По принципу действия датчики можно разделить на два класса: генераторные и параметрические (датчики-модуляторы). Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины в электрический сигнал. Параметрические датчики входную величину преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра ( $R$ ,  $L$  или  $C$ ) датчика, поэтому для работы требуют источник питания.

По принципу действия датчики также можно разделить на омические, термометрические, фотоэлектрические (оптико-электронные), индуктивные, емкостные и др.

Различают три класса датчиков:

- ♦ аналоговые датчики, вырабатывающие аналоговый сигнал, пропорционально изменению входной величины;
- ♦ цифровые датчики, генерирующие последовательность импульсов или цифровой код;

- ♦ бинарные (двоичные) датчики, которые вырабатывают сигнал только двух уровней: «включено/выключено» (иначе говоря, 0 или 1).

### Омические (резистивные) датчики

**Принцип действия** омических (резистивных) датчиков основан на изменении их активного сопротивления при изменении длины  $l$ , площади сечения  $S$  или удельного сопротивления  $\rho$ .

Кроме того, используется зависимость величины активного сопротивления от температуры, контактного давления и освещенности. В соответствии с этим омические датчики делят на: контактные, потенциометрические (реостатные), тензорезисторные, терморезисторные, фоторезисторные.

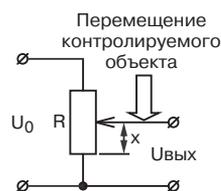
**Контактные датчики** — это простейший вид резисторных датчиков, которые преобразуют перемещение первичного элемента в скачкообразное изменение сопротивления электрической цепи. С помощью контактных датчиков измеряют и контролируют усилия, перемещения, положение, температуру, размеры объектов и т. д. К контактным датчикам относятся путевые и концевые выключатели, контактные термометры и так называемые электродные датчики, используемые в основном для измерения предельных уровней электропроводных жидкостей.

Недостаток контактных датчиков является ограниченный срок службы контактной системы, но благодаря простоте этих датчиков они находят широкое применение.

**Реостатные датчики** представляют собой резистор с изменяющимся активным сопротивлением. Входной величиной датчика является перемещение контакта, а выходной — изменение его сопротивления. Подвижный контакт механически связан с объектом, перемещение (угловое или линейное) которого необходимо преобразовать.

Наибольшее распространение получила потенциометрическая схема включения реостатного датчика, в которой реостат включают по схеме делителя напряжения (рис. 2.74). Переменный резистор, включаемый по схеме делителя напряжения, называют **потенциометром**.

Выходной величиной  $U_{\text{вых}}$  такого датчика является падение напряжения между подвижным и одним из неподвижных контактов.



**Рис. 2.74.**  
Потенциометрическая  
схема включения  
реостатного датчика

Зависимость выходного напряжения от перемещения «х» контакта  $U_{\text{вых}} = f(x)$  соответствует закону изменения сопротивления вдоль потенциометра.

Обычно реостатные датчики применяют в механических измерительных приборах для преобразования их показаний в электрические величины (ток или напряжение), например, в поплавковых измерителях уровня жидкостей, различных манометрах и т. п.

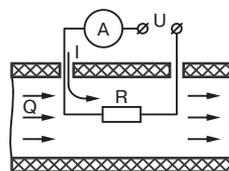
**Тензометрические датчики** служат для измерения механических напряжений, небольших деформаций, вибрации. Действие тензорезисторов основано на тензоэффекте, заключающемся в изменении активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов под воздействием приложенных к ним усилий.

**Термометрические датчики** (терморезисторы) — сопротивление зависит от температуры. Терморезисторы в качестве датчиков используют двумя способами.

**Способ 1.** Температура терморезистора определяется окружающей средой; ток, проходящий через терморезистор, настолько мал, что не вызывает нагрева терморезистора. При этом условии терморезистор используется как датчик температуры.

**Способ 2.** Температура терморезистора определяется степенью нагрева постоянным по величине током и условиями охлаждения. В этом случае установившаяся температура определяется условиями теплоотдачи поверхности терморезистора (скоростью движения окружающей среды — газа или жидкости — относительно терморезистора, ее плотностью, вязкостью и температурой), поэтому терморезистор может быть использован как датчик скорости потока, теплопроводности окружающей среды, плотности газов и т. п.

Например, для измерения объема потребляемого воздуха в автомобильных двигателях в воздухопроводе устанавливается самонагревающийся резистор. Сопротивление такого резистора изменяется вследствие охлаждения потоком воздуха, в результате чего резистор действует как датчик расхода (рис. 2.75).



**Рис. 2.75.**  
Применение самонагревающегося резистора в качестве датчика расхода

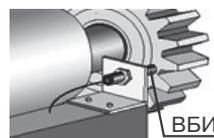
### Индуктивные датчики

Индуктивные датчики служат для бесконтактного получения информации о перемещениях рабочих органов машин, механизмов.

Принцип действия датчика основан на изменении электромагнитного поля при попадании в зону действия датчика металлических объектов (на немагнитные материалы датчик не реагирует). В основном индуктивные датчики применяются в качестве бесконтактных выключателей (не требует механического воздействия) для определения положения (конечные и путевые выключатели).

На рис. 2.76 представлен пример применения индуктивного датчика в качестве датчика положения, угла, скорости.

Недостатками индуктивных датчиков является малое расстояние срабатывания и сравнительно небольшая чувствительность.



*Рис. 2.76. Примеры использования индуктивного датчика (ВБИ — выключатель бесконтактный индукционный)*

### Емкостные датчики

Принцип действия основан на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров, взаимного расположения его обкладок и от диэлектрической проницаемости среды между ними.

Для двухобкладочного плоского конденсатора электрическая емкость определяется выражением:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon S/h.$$

где  $\varepsilon_0$  — диэлектрическая постоянная;

$\varepsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками;

$S$  — активная площадь пластин;

$h$  — расстояние между пластинами конденсатора.

Зависимости емкости от площади пластин и расстояния между ними используется для измерения угловых перемещений, очень малых линейных перемещений, вибраций, скорости движения и т. д.

Широко емкостные датчики применяются для контроля уровня жидкостей и сыпучих материалов. При этом возможно располагать датчики вне резервуара или бункера. Материал, попадая в рабочую зону датчика, вызывает изменение диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$ , что изменяет емкость и вызывает срабатывание датчика (рис. 2.77).

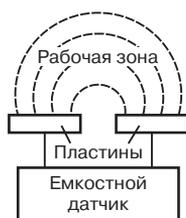


Рис. 2.77.  
Емкостной датчик

Кроме того, на измерении значения диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  работают датчики толщины слоя непроводящих материалов (толщиномеры) и контроля влажности и состава вещества.

Достоинства емкостных датчиков — простота, высокая чувствительность и малая инерционность. Недостатки — влияние внешних электрических полей, относительная сложность измерительных устройств.

### Индукционные датчики

Индукционные датчики преобразуют измеряемую величину в ЭДС индукции. К этим датчикам относятся тахогенераторы, у которых выходное напряжение пропорционально угловой скорости вращения вала генератора. Используются как датчики угловой скорости.

Тахогенератор (рис. 2.78) представляет собой электрическую машину, работающую в генераторном режиме. Контролируемый объект механически связан с ротором тахогенератора и приводит его во вращение. При этом вырабатываемая ЭДС пропорциональна скорости вращения и величине магнитного потока. Кроме того, с изменением скорости вращения изменяется частота ЭДС.

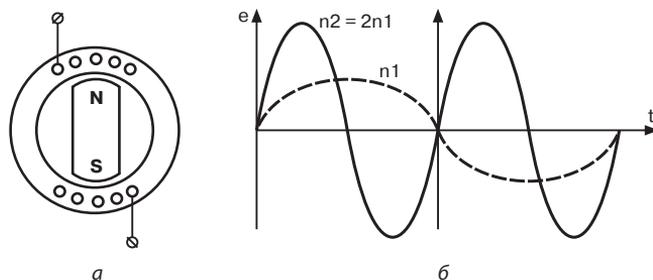


Рис. 2.78. Тахогенератор:  
а — конструкция; б — диаграммы выходной ЭДС

### Температурные датчики

Температурные датчики являются наиболее распространенными видами датчиков. Широкий диапазон измеряемых температур, разнообразие условий использования средств измерений и требований к ним определяют многообразие применяемых средств измерения температуры.

Основные классы датчиков температуры: кремниевые, биметаллические датчики, жидкостные и газовые термометры, термоиндикаторы, термопары, термопреобразователи сопротивления, инфракрасные датчики.

**Кремниевые** датчики температуры используют зависимость сопротивления полупроводникового кремния от температуры. Диапазон измеряемых температур  $-50... +150$  °С. Применяются в основном для измерения температуры внутри электронных приборов.

**Биметаллический** датчик представляет собой пластину из двух разнородных металлов, имеющих различный температурный коэффициент линейного расширения. При нагревании или охлаждении пластина изгибается, размыкая (замыкая) электрические контакты или перемещая стрелку индикатора. Диапазон работы биметаллических датчиков  $-40... +550$  °С. Используются для измерения поверхности твердых тел и температуры жидкостей. Основные области применения — системы отопления и нагрева воды.

**Термоиндикаторы** — это особые вещества, изменяющие свой цвет под воздействием температуры. Производятся в виде пленок.

**Термопреобразователи** сопротивления (терморезисторы) основаны на изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников в зависимости от температуры.

С ростом температуры сопротивление металлов возрастает. Для изготовления металлических терморезисторов используется медь, никель, платина. Платиновые терморезисторы позволяют измерять температуры в пределах от  $-260$  до  $+1100$  °С.

Полупроводниковые терморезисторы имеют отрицательный или положительный температурный коэффициент сопротивления. Кроме того, полупроводниковые терморезисторы при весьма малых размерах имеют высокие значения сопротивления (до 1 МОм).

Применяются для изменения температур в диапазоне от  $-100$  до  $+200$  °С.

**Термопары** представляет собой соединение (спай) двух разнородных металлов. Работа основана на термоэлектрическом эффекте — при наличии разности температур спаев  $T_1$  и концов термопары  $T_0$  возникает электродвижущая сила, называемая термоэлектродвижущей (сокращенно термо-ЭДС). В определенном интервале температур можно считать, что термо-ЭДС прямо пропорциональна разности температур  $\Delta T = T_1 - T_0$ .

Термопары позволяют измерять температуру в диапазоне от  $-200$  до  $+2200$  °С. Наибольшее распространение для изготовления термоэлектрических преобразователей получили платина, платинородий, хромель, алюмель.

Термопары дешевы, простоты в изготовлении и надежны в эксплуатации. Измерительные мультиметры комплектуются именно термопарами.

**Инфракрасные датчики** (пирометры) — используют энергию излучения нагретых тел, что позволяет измерять температуру поверхности на расстоянии. Пирометры делятся на радиационные, яркостные и цветовые. Позволяют измерять температуру в труднодоступных местах и температуру движущихся объектов, высокие температуры, где другие датчики уже не работают.

### Пьезоэлектрические датчики

Пьезоэлектрические датчики основаны на пьезоэлектрическом эффекте (пьезоэффекте) — при сжатии или растяжении некоторых кристаллов на их гранях появляется электрический заряд, величина которого пропорциональна действующей силе. Используются для измерения сил, давления, вибрации и т. д.

### Оптические (фотоэлектрические) датчики

Оптические (фотоэлектрические) датчики работают либо на основе внутреннего фотоэффекта — изменении сопротивления при изменении освещенности, либо вырабатывают фотоЭДС, пропорциональную освещенности.

Различают **аналоговые** и **дискретные** оптические датчики. У аналоговых датчиков выходной сигнал изменяется пропорционально внешней освещенности. Основная область применения — автоматизированные системы управления освещением.

Датчики дискретного типа изменяют выходное состояние на противоположное при достижении заданного значения освещенности.

Используются как своеобразные бесконтактные выключатели для подсчета, обнаружения, позиционирования и других задач.

**Оптический бесконтактный датчик**, регистрирует изменение светового потока в контролируемой области, связанное с изменением

положения в пространстве каких-либо движущихся частей механизмов и машин, отсутствия или присутствия объектов.

**Оптический бесконтактный датчик** состоит из двух функциональных узлов: приемника и излучателя. Данные узлы могут быть выполнены как в одном корпусе, так и в различных корпусах.

Выделяют два метода обнаружения объекта фотоэлектрическими датчиками.

**Пересечение луча** — в этом методе передатчик и приемник разделены по разным корпусам, что позволяет устанавливать их напротив друг друга на рабочем расстоянии. Принцип работы основан на том, что передатчик постоянно посылает световой луч, который принимает приемник. Если световой сигнал датчика прекращается, вследствие перекрытия сторонним объектом, приемник немедленно реагирует, меняя состояние выхода.

**Отражение от объекта** — в этом методе приемник и передатчик находятся в одном корпусе. Во время рабочего состояния датчика все объекты, попадающие в его рабочую зону, становятся своеобразными рефлекторами (отражателями). Как только световой луч, отразившись от объекта, попадает на приемник датчика, тот немедленно реагирует, меняя состояние выхода.

Фотоэлектрические датчики могут быть применены практически во всех отраслях промышленности.

## РАДИОЛЮБИТЕЛЯМ О МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

*Применение микропроцессорных систем в бытовой электронике стало повсеместным. Они встраиваются в измерительные приборы, электрические аппараты, осветительные установки, не говоря уже о мобильных телефонах, CD проигрывателях и дистанционно управляемых игрушках. Все это обязывает радиолюбителя знать основы работы микропроцессорной техники и использовать их в своем творчестве.*

### 3.1. Цифровая информация

#### Основные понятия

**Микропроцессорные системы (МС)** предназначены для автоматизации обработки информации и управления различными процессами.

Понятие «Микропроцессорная система» очень широко. Оно объединяет такие понятия как «Электронно-вычислительная машина (ЭВМ)», «управляющая ЭВМ», «Компьютер» и т. п.

МС включает в себя **аппаратное обеспечение** (англ. — hardware) и **программное обеспечение** (англ. — software).

Микропроцессорная система работает с **цифровой информацией**, которая представляет собой последовательность цифровых кодов.

#### Кодирование информации

Почти вся информация, которая нас окружает, является аналоговой. Поэтому, прежде чем информация попадет на обработку в процессор, она подвергается преобразованию посредством АЦП (аналого-цифровой преобразователь). Кроме того, информация кодируется в

определенном формате и может быть числовой, логической, текстовой (символьной), графической, видео и др.

Например, для кодирования текстовой информации используется таблица кодов ASCII (от англ. American Standard Code for Information Interchange — Американский стандартный код для обмена информацией). Запись одного символа осуществляется одним байтом, который может принимать 256 значений.

Графическая информация разбивается на точки (пиксели) и производится кодирование цвета и положение каждой точки по горизонтали и вертикали.

### Системы счисления

В основе любой МС лежит микропроцессор, который способен воспринимать только двоичные числа (составленные из «0» и «1»). **Двоичные числа** записываются посредством двоичной системы счисления. Например, в повседневной жизни мы пользуемся десятичной системой счисления, в которой для записи чисел используются десять символов или цифр 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Соответственно в двоичной системе таких символов (или цифр) всего два — **0** и **1**.

Необходимо понимать, что система счисления — это всего лишь правила записи чисел, и выбор типа системы определяются удобством применения. Выбор двоичной системы обусловлен ее простотой, а значит надежностью работы цифровых устройств и легкостью их технической реализации.

Кроме двоичной и десятичной системы в МС используют шестнадцатеричную систему, в которой для записи чисел используются символы 0...9 и A...F. Ее применение обуславливается тем, что один байт описывается двухразрядным шестнадцатеричным числом, что значительно сокращает запись цифрового кода и делает его более читаемым (11111111 = FF).

Запись чисел в различных системах счисления представлена в табл. 3.1.

Для определения значения числа (например, значения числа 100 для разных систем счисления может составлять  $4_2$ ,  $100_{10}$ ,  $256_{16}$ ), в конце числа добавляют латинскую букву, обозначающую систему счисления: для двоичных чисел букву **b**, для шестнадцатеричных — **h**, для десятичных — **d**. Число без дополнительного обозначения считается десятичным.

Запись чисел в различных системах счисления

Таблица 3.1

Система счисления		
10-я	2-я	16-я
0	0	0
1	1	1
2	10	2
3	11	3
4	100	4
5	101	5
6	110	6
7	111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F
16	10000	10

Перевод чисел из одной системы в другую и основные арифметические и логические операции над числами позволяет производить инженерный калькулятор (стандартное приложение операционной системы Windows).

### Единицы измерения цифровой информации

**Бит** (от английского «Binary digit» — двоичная цифра) принимает только два значения: **0** или **1**. Можно закодировать логическое значение «да» или «нет», состояние «включено» или «выключено», состояние «открыто» или «закрыто» и т. п.

Группа из восьми бит называется **байтом**, например **10010111**. Один байт позволяет кодировать 256 значений:  $00000000 = 0$ ,  $11111111 = 255$ .

**Бит** — наименьшая единица представления информации.

**Байт** — наименьшая единица обработки информации.

Два взаимосвязанных байта называется **словом**, 4 байта — **двойное слово**, 8 байт — **четверенное слово**.

## 3.2. Структура микропроцессорной системы

### Основные компоненты микропроцессорной системы

Основу микропроцессорной системы составляет **микропроцессор** (процессор), который выполняет функции обработки информации и управления. Остальные устройства, входящие в состав МС, обслуживают процессор, помогая ему в работе.

Обязательными устройствами для создания микропроцессорной системы являются **порты ввода/вывода** и отчасти **память**. Порты ввода/вывода связывают процессор с внешним миром, обеспечивая ввод информации для обработки и вывод результатов обработки, либо управляющих воздействий. К портам ввода подключают кнопки (клавиатуру), различные датчики; к портам вывода — устройства, которые допускают электрическое управление: индикаторы, дисплеи, контакторы, электроклапаны, электродвигатели и т. д.

Память нужна в первую очередь для хранения программы (либо набора программ), необходимой для работы процессора. **Программа** — это последовательность команд, понятных процессору, написанная человеком (чаще программистом).

Структура микропроцессорной системы представлена на **рис. 3.1**. В упрощенном виде процессор состоит из арифметически-логического устройства (АЛУ), осуществляющего обработку цифровой информации и устройства управления (УУ).

Память обычно включает постоянно-запоминающее устройство (ПЗУ), являющееся энергонезависимым и предназначенное для долговременного хранения информации (например, программ), и оперативно-запоминающее устройство (ОЗУ), предназначенное для временного хранения данных.

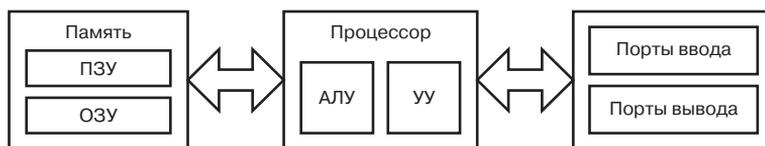


Рис. 3.1. Структура микропроцессорной системы

## Шинная структура микропроцессорной системы

Процессор, порты и память взаимодействуют между собой посредством шин.



**Это полезно запомнить.**

*Шина* — это набор проводников, объединенных по функциональному признаку.

Единый набор системных шин называют *внутрисистемная магистраль*, в которой выделяют:

- ♦ *шину данных DB (Data Bus)*, по которой производится обмен данными между ЦП, памятью и портами;
- ♦ *шину адреса AB (Address Bus)*, используемой для адресации процессором ячеек памяти и портов;
- ♦ *шину управления CB (Control Bus)*, набор линий, передающих различные управляющие сигналы от процессора на внешние устройства и обратно.

## 3.3. Микропроцессоры

### Архитектура микропроцессора



**Это полезно запомнить.**

*Микропроцессор (МП)* — программно-управляемое устройство, предназначенное для обработки цифровой информации и управления процессом этой обработки, выполненное в виде одной (или нескольких) интегральной схемы с высокой степенью интеграции электронных элементов.



**Рис. 3.2.**  
Внешний вид  
микропроцессора  
Intel Pentium 4

Внешний вид микропроцессора показан на рис. 3.2. МП характеризуется большим числом параметров, поскольку он одновременно является сложным программно-управляемым устройством и электронным прибором (микросхемой). Поэтому для МП важны, как тип корпуса, так и система команд процессора. Возможности микропроцессора определяются понятием архитектуры микропроцессора.

Приставка «микро» в названии процессора означает, что выполняется он по микронной технологии.

В ходе работы МП считывает команды программы из памяти или порта ввода и исполняет их. Что означает каждая команда, определяется **системой команд процессора**. Система команд заложена в архитектуре МП и выполнение кода команды выражается в проведении внутренними элементами процессора определенных микроопераций.



**Это полезно запомнить.**

***Архитектура микропроцессора** — это его логическая организация; она определяет возможности микропроцессора по аппаратной и программной реализации функций, необходимых для построения микропроцессорной системы.*

### Основные характеристики МП

**Тактовая частота** (единица измерения МГц или ГГц) — количество тактовых импульсов за 1 секунду. Тактовые импульсы вырабатывает тактовый генератор, который чаще всего находится внутри процессора. Т. к. все операции (инструкции) выполняются по тактам, то от значения тактовой частоты зависит производительность работы (количество выполняемых операций в единицу времени). Частотой процессора можно варьировать в определенных пределах.

**Разрядность процессора** (8, 16, 32, 64 бит и т. д.) — определяет число байтов данных, обрабатываемых за один такт. Разрядность процессора определяется разрядностью его внутренних регистров. Процессор может быть 8-разрядным, 16-разрядным, 32-разрядным, 64-разрядным и т. д., т. е. данные обрабатываются порциями по 1, 2, 4, 8 байт. Понятно, что чем больше разрядность, тем выше производительность работы.

### Внутренняя архитектура МП

Упрощенная внутренняя архитектура типового 8-разрядного микропроцессора показана на рис. 3.3. В структуре МП можно выделить три основных части:

- ♦ **регистры** для временного хранения команд, данных и адресов;
- ♦ **арифметико-логическое устройство (АЛУ)**, которое реализует арифметические и логические операции;

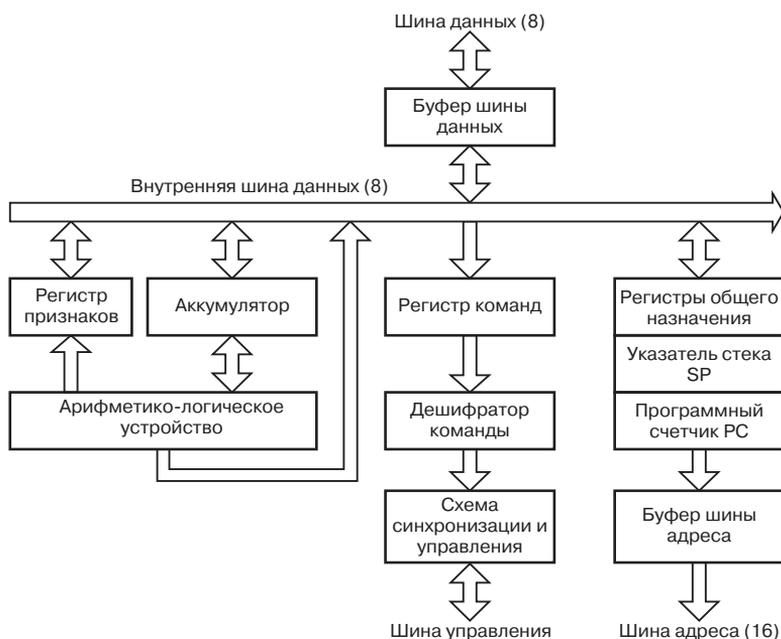


Рис. 3.3. Упрощенная внутренняя архитектура 8-разрядного микропроцессора

- ♦ **схема управления и синхронизации** — обеспечивает выборку команд, организует функционирование АЛУ, обеспечивает доступ ко всем регистрам МП, воспринимает и генерирует внешние управляющие сигналы.

Как видно из схемы, основу процессора составляют регистры, которые делятся на специальные (имеющие определенное назначение) и регистры общего назначения.

**Программный счетчик (РС)** — регистр, содержащий адрес следующего командного байта. Процессор должен знать, какая команда будет выполняться следующей.

**Аккумулятор** — регистр, используемый в подавляющем большинстве команд логической и арифметической обработки; он одновременно является и источником одного из байт данных, которые требуются для операции АЛУ, и местом, куда помещается результат операции АЛУ.

**Регистр признаков** (или регистр флагов) содержит информацию о внутреннем состоянии микропроцессора, в частности о результате последней операции АЛУ. Регистр флагов не является регистром в обычном смысле, а представляет собой просто набор триггеров-

защелок (флаг поднят или опущен). Обычно имеются флаги нуля, переполнения, отрицательного результата и переноса.

**Указатель стека (SP)** — следит за положением стека, т. е. содержит адрес последней его использованной ячейки. Стек — способ организации хранения данных.

**Регистр команды** содержит текущий командный байт, который декодируется дешифратором команды.

Линии внешних шин изолированы от линий внутренней шины с помощью буферов, а основные внутренние элементы связаны быстродействующей внутренней шиной данных.

### Повышение производительности МС

Для повышения производительности многопроцессорной системы функции центрального процессора могут распределяться между несколькими процессорами. В помощь центральному процессору в компьютер часто вводят **сопроцессоры**, ориентированные на эффективное исполнение каких-либо специфических функций. Широко распространены **математические** и **графические**, сопроцессоры **ввода-вывода**, разгружающие центральный процессор от несложных, но многочисленных операций взаимодействия с внешними устройствами.

На современном этапе основным направлением повышения производительности является разработка **многоядерных** процессоров, т. е. объединение в одном корпусе двух и более процессоров, с целью выполнения нескольких операций параллельно (одновременно).



#### **Это интересно знать.**

*Лидирующими компаниями по разработке и изготовлению процессоров являются Intel и AMD.*

## 3.4. Устройства памяти

### Определение



#### **Это полезно запомнить.**

***Память МС** или **запоминающие устройства (ЗУ)** — это совокупность технических средств, служащих для **запоминания, хранения и выдачи** информации, представленной в виде цифровых кодов.*

Память предназначена для кратковременного и долговременного хранения информации — кодов команд, данных и адресов. Информация в памяти хранится в двоичных кодах.

Элементарная ячейка памяти — **бит** — может принимать значение «0» или «1». Каждая ячейка памяти имеет свой адрес, однозначно ее идентифицирующий в пространстве системы. Стандартным размером ячейки памяти обычно является байт.

### Основные характеристики систем памяти

**Емкость** — максимально возможное количество байтов хранимой информации.

Так как эта емкость может быть очень велика, то обычно используют более крупные единицы, образованные присоединением приставок К (кило), М (мега) или Г (гига). При этом надо учитывать, что в двоичной системе приставки К, М и Г соответственно равны:

$$2^{10} = 1024$$

$$2^{20} = 1\,048\,676$$

$$2^{30} = 1\,073\,741\,824.$$

**Быстродействие** — характеризуется временем цикла обращения к памяти.

**Способность сохранения информации при отключении питания (энергонезависимость).**



**Это интересно знать.**

*Обычно для памяти характерно правило — устройства, обладающие большим объемом памяти, обладают меньшим быстродействием, и наоборот. Внешние запоминающие устройства обладают практически неограниченным объемом памяти и наименьшим быстродействием.*

### Классификация запоминающих устройств

Память делят на внутреннюю и внешнюю.

**Внутренняя память** — электронная (полупроводниковая) — стационарная (не носимая).

**Внешняя память** — память, реализованная в виде устройств с различными принципами хранения информации и обычно с подвиж-

ными носителями: магнитная (дисковая), полупроводниковая (флэш-память), оптическая.

По функциональному назначению различают сверхоперативные ЗУ (СОЗУ), оперативные ЗУ (ОЗУ), постоянные ЗУ (ПЗУ), стековые ЗУ.

СОЗУ (КЭШ-память) — встроено в микропроцессор или находится в непосредственной близости возле него и предназначено для хранения команд, операндов и результатов промежуточных вычислений. Обладает наибольшим быстродействием и самой малой емкостью.

ОЗУ (оперативная память) предназначено для хранения оперативной (переменной) информации, требующейся в процессе обработки. ОЗУ не сохраняет информацию при отключении питания.

ПЗУ — энергонезависимый тип памяти. Обладает невысоким быстродействием и неограниченной емкостью.

Стековые ЗУ — способ организации памяти для временного хранения данных, работающей по принципу «первый вошел — последний вышел». Стек организуется в обычной памяти данных. Для этого применяется регистр — указатель стека (SP), в котором записан адрес, называемый **вершина стека**. При записи в стек нового слова содержимое указателя слова увеличивается на 1, при считывании уменьшается на 1. Преимущество такого построения в том, что процессор должен «помнить» только один адрес — записанный в вершине стека.

### Адресация ячеек памяти

Для обращения к ячейкам памяти, каждая из них имеет **адрес**. Количество адресов определяет адресуемое пространство процессора — **объем памяти**, к которому может обратиться процессор (осуществить операции записи и считывания). Представим пространство памяти в виде двухмерного массива (рис. 3.4). Для адресации ячейки указывается номер строки и номер столбца, например, 0110. Активируется строка 01 и столбец 10, что делает ячейку, затемненную на рис. 3.4, доступную для чтения или записи. Адрес передается по **шине адреса**. От количества разрядов шины адреса зависит то, какое количество ячеек памяти может адресовать процессор. При шестнадцатиразрядной шине данных процессор может обратиться к  $2^{16}$  (65536) ячейкам памяти, т. е. объем адресуемого пространства процессора составляет 64 кбайта.

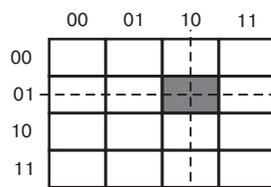


Рис. 3.4. Пример адресации ячейки памяти

## Flash-память

Flash-память является основным видом памяти, т. к. сочетает в себе достоинства полупроводниковой памяти и энергонезависимость. Флэш-памятью оснащают носимые устройства: мобильные телефоны, цифровые фотокамеры и фотоаппараты, карманные компьютеры и т. п. Начато ее использование для изготовления полупроводниковых винчестеров.

## Хранение данных на магнитных дисках

Принцип работы магнитных запоминающих устройств основан на способах хранения информации с использованием свойств магнитных материалов. Магнитные запоминающие устройства состоят из **устройства чтения/записи информации** и **магнитного носителя**, на который осуществляется запись и с которого считывается информация. Кроме того, присутствует контроллер управления.

**Принцип работы** заключается в намагничивании переменным магнитным полем участков носителя и считывании информации, закодированной как области переменной намагниченности.

Магнитные диски бывают двух типов — гибкие (Floppy Disk) и жесткие (Hard Disk).

Чтобы у каждого файла на диске был свой адрес, диск разбивают на **дорожки**, а дорожки, в свою очередь, разбивают на **секторы**. Разбиение диска на дорожки и секторы называется **форматированием** диска.

Самая первая дорожка магнитного диска (нулевая) считается **служебной** — там хранится служебная информация. Например, на этой дорожке хранится так называемая **таблица размещения файлов (FAT-таблица)**. В этой таблице компьютер запоминает адреса записанных файлов.

Магнитные диски постепенно вытесняются полупроводниковой памятью, т. к. имеют относительно большие габариты и ненадежные механические системы.

## Оптические диски

CD (компакт-диск) и DVD (Digital Versatile Disc) изготавливаются из полимеров и покрываются металлической пленкой, обычно сплавом на основе алюминия. Информацию хранит металлическая пленка, которую дополнительно покрывают слоем прозрачного поли-

мера, который защищает данные от механического повреждения. Считывание информации с диска происходит за счет регистрации изменений интенсивности отраженного от алюминиевого слоя излучения маломощного лазера. Устройство, осуществляющее запись и считывание на лазерные диски называют DVD-привод.

## 3.5. Алгоритм работы микропроцессорной системы

### Последовательность действий МП

Главным управляющим элементом всей микропроцессорной системы является **процессор**. Именно он, за исключением нескольких особых случаев, управляет всеми остальными устройствами. Остальные же устройства, такие, как ОЗУ, ПЗУ и порты ввода/вывода являются ведомыми.

Сразу после включения процессор начинает читать цифровые коды из той области памяти, которая отведена для хранения программ. Чтение происходит последовательно ячейка за ячейкой, начиная с самой первой. В ячейке записаны данные, адреса и команды. **Команда** — это одно из элементарных действий, которое способен выполнить микропроцессор. Вся работа микропроцессора сводится к последовательному чтению и выполнению команд.

Рассмотрим последовательность действий МП во время выполнения команд программы, ориентируясь на внутреннюю архитектуру 8-разрядного микропроцессора (**рис. 3.3**):

- ♦ перед выполнением очередной команды МП содержит ее адрес в программном счетчике РС;
- ♦ МП обращается к памяти по адресу, содержащемуся в РС, и считывает из памяти первый байт очередной команды в регистр команд;
- ♦ дешифратор команд декодирует (расшифровывает) код команды;
- ♦ в соответствии с полученной от дешифратора информацией устройство управления вырабатывает упорядоченную во времени последовательность микроопераций, реализующих предписания команды, в том числе:
  - ♦ извлекает операнды из регистров и памяти;
  - ♦ выполняет над ними предписанные кодом команды арифметические, логические или другие операции;

- ♦ в зависимости от длины команды модифицирует содержимое РС;
- ♦ передает управление очередной команде, адрес которой снова находится в программном счетчике РС.

### Группы команд МП

**Команды перемещения данных.** Перемещение происходит между памятью, процессором, портами ввода/вывода (каждый порт имеет свой собственный адрес), между регистрами процессора.

**Команды преобразования данных.** Любые данные (текст, рисунок, видеоролик и т. д.) представляют собой числа, а с числами можно выполнять только арифметические и логические операции. Поэтому к командам этой группы относятся сложение, вычитание, сравнение, логические операции и т. п.

**Команда передачи управления.** Очень редко программа состоит из одной последовательной команд. Подавляющее число алгоритмов требуют разветвления программы. Для того, чтобы программа имела возможность менять алгоритм своей работы в зависимости от какого-либо условия, и служат команды передачи управления. Данные команды обеспечивают протекание выполнения программы по разным путям и организуют циклы.

### Внешние устройства

К внешним относятся все устройства, находящиеся вне процессора (кроме оперативной памяти и контроллеров) и подключаемые через порты ввода/вывода. Внешние устройства (ВУ) можно подразделить на три группы:

- ♦ устройства для связи человек-ЭВМ (клавиатура, монитор, принтер и т. д.);
- ♦ устройства для связи с объектами управления (датчики, исполнительные механизмы, АЦП и ЦАП);
- ♦ внешние ЗУ большой емкости (жесткий диск, дисководы).

Внешние устройства подключаются к микропроцессорной системе физически — с помощью разъемов, и логически — с помощью портов (контроллеров). Для взаимодействия процессора и внешних устройств применяется система (механизм) прерываний.

## Система прерываний

Система прерываний — это специальный механизм, который позволяет в любой момент, по внешнему сигналу заставить процессор приостановить выполнение основной программы, выполнить операции, связанные с вызывающим прерывание событием, а затем вернуться к выполнению основной программы.

У любого микропроцессора имеется хотя бы один вход запроса на прерывание INT (от англ. Interrupt — прерывание). Рассмотрим пример взаимодействия процессора персонального компьютера с клавиатурой (рис. 3.5).



**Это полезно запомнить.**

**Клавиатура** — устройство для ввода символьной информации и команд управления.

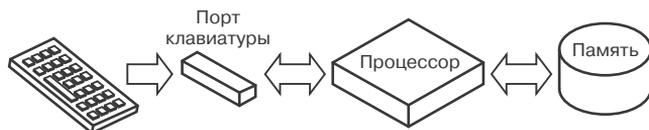


Рис. 3.5. Работа процессора с клавиатурой

Для подключения клавиатуры в компьютере имеется специальный **порт клавиатуры** (микросхема).

**Алгоритм работы** таков.

При нажатии клавиши контроллер клавиатуры формирует цифровой код. Этот сигнал поступает в микросхему порта клавиатуры.

Порт клавиатуры посылает процессору сигнал прерывания. Каждое внешнее устройство имеет свой номер прерывания, по которому процессор его и распознает.

Получив прерывание от клавиатуры, процессор прерывает выполнение программы (например, редактор Microsoft Office Word) и загружает из памяти программу обработки кодов с клавиатуры. Такая программа называется драйвер.

Эта программа направляет процессор к порту клавиатуры, и цифровой код загружается в регистр процессора.

Цифровой код сохраняется в памяти, и процессор переходит к выполнению другой задачи.

Благодаря высокой скорости работы, процессор выполняет одновременно большое количество процессов.

## 3.6. Интерфейсы

### Виды интерфейсов



**Это полезно запомнить.**

**Интерфейс** (взаимодействие) — это взаимосвязь между компонентами и участниками микропроцессорной системы.

В микропроцессорную систему входят: **аппаратное обеспечение, программное обеспечение и человек**. Поэтому выделяют следующие виды интерфейсов:

- ♦ аппаратный интерфейс;
- ♦ программный интерфейс;
- ♦ интерфейс пользователя.

### Программный интерфейс

Программный интерфейс обеспечивается операционной системой (если таковая имеется). Наиболее распространенными интерфейсами пользователя являются графический интерфейс (например, рабочий стол персонального компьютера с иконками или кнопки команд в редакторе Microsoft Office Word) и интерфейс «джойстика», когда мы выбираем необходимую нам команду, перемещаясь по меню (например, мобильные телефоны, программируемые контроллеры), что также является видом графического интерфейса.

### Аппаратный интерфейс

Аппаратный интерфейс представляет собой систему шин, разъемов, согласующих устройств, алгоритмов и протоколов, обеспечивающих связь всех частей микропроцессорной системы между собой. От характеристик интерфейса зависит быстродействие и надежность системы.

В развернутых МС для разгрузки процессора аппаратный интерфейс обеспечивается контроллерами.



**Это полезно запомнить.**

**Контроллер** — это специализированная микросхема, предназначенная для выполнения функций контроля и управления.

Контроллер осуществляет управление работой устройства, например, жестким диском, оперативной памятью, клавиатурой и обеспечивает взаимосвязь этого устройства с другими участниками МС.

Управление шинами осуществляют **мосты**. В сложных МС, например, таких как персональный компьютер, центральное место занимает «чипсет» (ChipSet) — набор мостов и контроллеров. Чипсет включает две главные микросхемы, которые традиционно называют южный мост и северный мост (рис. 3.6). Северный мост обслуживает системную шину, шину памяти, AGP (ускоренный графический порт) и является главным контроллером компьютера. Южный мост обслуживает работу с внешними устройствами (шина PCI — шина ввода/вывода для подключения периферийных устройств).



#### Это интересно знать.

*Наиболее сложна организация взаимодействия процессора и внешних устройств, что связано с большим их разнообразием.*

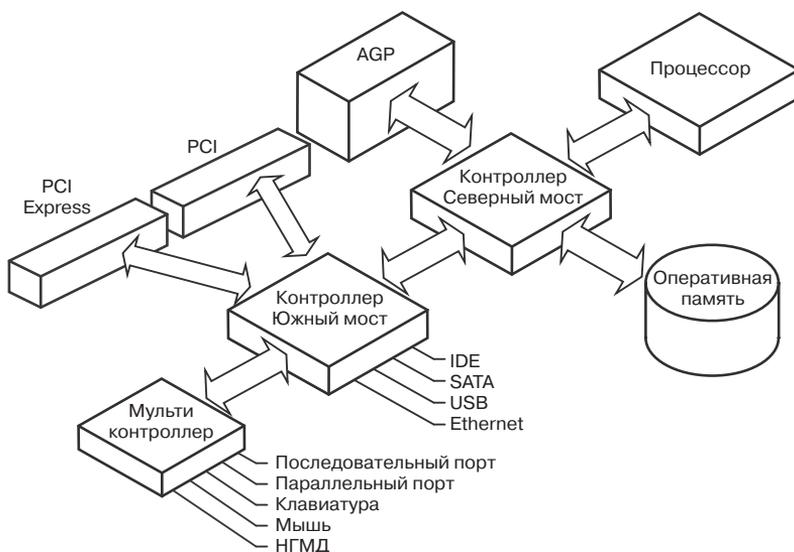


Рис. 3.6. Организации обмена данными в персональных компьютерах (PC)

## Виды интерфейсов

**Параллельные** интерфейсы характеризуются тем, что в них для передачи бит используются отдельные сигнальные линии, и биты передаются одновременно. Классическим параллельным интерфейсом является LPT-порт.

**Последовательный** интерфейс для передачи данных использует одну сигнальную линию, по которой информационные биты передаются друг за другом последовательно.

Простейшим последовательным интерфейсом, получившим распространение как в РС, так и в промышленных системах, является стандарт RS-232, реализуемый COM-портами. В промышленной автоматике широко применяется RS-485.

**Шина USB** (Universal Serial Bus — универсальная последовательная шина) обеспечивает подключение к компьютеру большое количество разнообразных периферийных устройств, в том числе мобильные телефоны и бытовую электронику.

Первая спецификация интерфейса имела название USB 1.0, в настоящее время используется спецификация USB 2.0, современные устройства комплектуются интерфейсом спецификации USB 3.0.

Стандарт USB 2.0 содержит в себе четыре линии: прием и передача данных, питание + 5 В и корпус (табл. 3.2). В дополнение к ним USB 3.0 добавляет еще четыре линии связи (2 на прием и две на передачу) и корпус. Типы USB-разъемов приведены на рис. 3.7.



Рис. 3.7. Типы USB-разъемов

Назначение выводов стандарта USB 2.0

Таблица 3.2

№ вывода	Обозначение	Цвет провода	Описание
1	V BUS	Красный	Питание, + 5 В
2	D –	Белый	Data (передача данных)
3	D +	Зеленый	Data (передача данных)
4	GND	Черный	Ground (корпус)



### Это интересно знать.

*Шина USB имеет высокую пропускную способность (USB 2.0 обеспечивает максимальную скорость передачи информации до 480 Мбит/с, USB 3.0 — до 5,0 Гбит/с) и обеспечивает не только передачу данных, но и питание маломощных внешних устройств (максимальная сила тока, потребляемого устройством по линиям питания шины USB, не должна превышать 500 мА для USB 2.0 и 900 мА для USB 3.0), что позволяет не использовать внешних источников питания.*

**Интерфейс RS-232** (RS — recommended standard — рекомендованный стандарт) соединяет два устройства — компьютер и устройство передачи данных. Скорость передачи — 115 Кбит/с (максимум), расстояние передачи — 15 м (максимум), схема соединения — от точки к точке. Сигналы этого интерфейса передаются перепадами напряжения величиной (3—15) В, поэтому длина линии связи RS-232, как правило, ограничена расстоянием в несколько метров из-за низкой помехоустойчивости. Чаще всего используется в промышленном оборудовании; в персональном компьютере использовался для подключения манипулятора типа «мышь», модема. Интерфейс RS-232 принципиально не позволяет создавать сети, так как соединяет только 2 устройства.

**Интерфейс RS-485** — широко распространенный высокоскоростной и помехоустойчивый промышленный последовательный интерфейс двунаправленной передачи данных. Практически все современные компьютеры в промышленном исполнении, большинство датчиков и исполнительных устройств содержат в своем составе ту или иную реализацию интерфейса RS-485.

Для передачи и приема данных достаточно одной скрученной пары проводников (**витая пара**). Передача данных осуществляется с помощью дифференциальных сигналов (по одному проводу идет оригинальный сигнал, а по-другому — его инверсная копия).

Разница напряжений одной полярности между проводниками означает логическую единицу, разница другой полярности — ноль. При наличии внешних помех, наводки в соседних проводах одинаковы, и так как сигналом является разность потенциалов в проводниках, уровень сигнала остается неизменным. Это обеспечивает высокую помехоустойчивость и общую длину линии связи до 1 км (и более с использованием специальных устройств — повторителей).

Интерфейс RS-485 обеспечивает обмен данными между несколькими устройствами по одной двухпроводной линии связи в полудуплексном режиме (Прием и передача идут по одной паре проводов с разделением по времени). Широко используется в промышленности при создании автоматизированных систем управления.

### **Беспроводные (wireless) интерфейсы**

Позволяют уйти от кабелей связи, что особенно актуально для малогабаритных устройств, по размеру и весу соизмеримых с кабелями. В беспроводных интерфейсах используются электромагнитные волны инфракрасного (IrDA) и радиочастотного (Bluetooth, USB wireless) диапазонов.

**Инфракрасный интерфейс IrDA** позволяет осуществлять беспроводную связь между двумя устройствами на расстоянии до 1 метра. Инфракрасная связь — IR (Infra Red) Connection — безопасна для здоровья, не создает помех в радиочастотном диапазоне и обеспечивает конфиденциальность передачи. ИК-лучи не проходят через стены, поэтому зона приема ограничивается небольшим, легко контролируемым пространством.

Bluetooth (синий зуб) — радиointерфейс с низким энергопотреблением (мощность передатчика всего порядка 1 мВт) для организации персональных сетей, обеспечивающий передачу данных в режиме реального времени на небольшие расстояния. Каждое устройство Bluetooth имеет радиопередатчик и приемник, работающие в диапазоне частот 2,4 ГГц. Дальность действия радиointерфейса составляет около 100 м.

Беспроводной USB (USB wireless) — радиointерфейс малой дальности с высокой пропускной способностью: 480 Мбит/с на расстоянии до 3 метров и 110 Мбит/с на расстоянии до 10 метров. Работает в диапазоне частот 3,1—10,6 ГГц.

## Сетевой интерфейс

**Ethernet** (ether — эфир) — технология передачи данных, используемая в большинстве локальных компьютерных сетей. Этот интерфейс базируется на стандарте IEEE 802.3. Если интерфейс RS-485 можно рассматривать по принципу «один ко многим», то Ethernet работает по принципу «многие ко многим».

В зависимости от скорости передачи данных и передающей среды существует несколько вариантов: Ethernet — 10 Мбит/с; быстрый (Fast) Ethernet — 100 Мбит/с; гигабитный (Gigabit) Ethernet — 1 Гбит/с; 10-гигабитный Ethernet.

В качестве передающей среды используется коаксиальный кабель, витая пара и оптоволоконный кабель. Витая пара характеризуется невысокой стоимостью и высокой помехоустойчивостью. Оптоволоконный кабель позволяет создавать более длинные линии и высокоскоростные каналы связи.



### Это полезно запомнить.

**Витая пара** (*twisted pair*) — вид кабеля связи, представляет собой одну или несколько пар изолированных проводников, скрученных между собой и покрытых пластиковой оболочкой.

Например, кабель FTP (*foiled twisted pair*) — витая пара с общим экраном из фольги и медным проводником для отвода наведенных токов, 4 пары (*solid*), категория 5е (рис. 3.8). Кабель предназначен для стационарной прокладки внутри зданий, сооружений и эксплуатации в структурированных кабельных системах. Разработан для приложений, работающих в частотном диапазоне с верхней границей 100 МГц. На физическом уровне протокол Ethernet реализован в виде сетевых карт, встраиваемых в микропроцессорные системы, и концентраторов, соединяющих системы друг с другом.

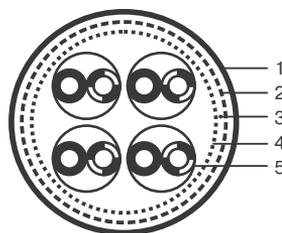


Рис. 3.8. Витая пара

1 — внешняя оболочка; 2 — экран-фольга; 3 — дренажный провод; 4 — защитная пленка; 5 — витая пара



### Это интересно знать.

На основе Ethernet строят промышленные сети (*Profinet, EtherNet/IP, EtherCAT, Ethernet Powerlink*), которые успешно конкурируют с ранее разработанными сетями *Profibus, DeviceNet, CANopen* и др.

## 3.7. Микроконтроллеры

### Общие сведения о микроконтроллерах



**Это полезно запомнить.**

**Микроконтроллер** — это целая микропроцессорная система в одной микросхеме (на одном кристалле). Одна микросхема содержит в себе процессор, память, порты ввода/вывода и некоторые дополнительные устройства: таймеры, устройства прерывания, компараторы и др.

Использование одной микросхемы вместо системного блока, как в случае персонального компьютера, значительно снижает размеры, энергопотребление и стоимость устройств, построенных на базе микроконтроллеров, а также многократно повышает надежность системы.

Микроконтроллеры применяются в системах управления двигателями, бытовой технике, медицинских приборах, электроинструментах, игрушках и т. п. На сегодняшний день микроконтроллеры встраивают практически во все электронные устройства.

Производством микроконтроллеров занимаются Intel, Microchip, Atmel, Motorola, Hitachi, Philips, Texas Instruments, Infineon Technologies и многие другие компании.

Основной характеристикой микроконтроллеров является разрядность арифметико-логического устройства. По этому признаку они делятся на 4-, 8-, 16-, 32- и 64-разрядные. Производительность микроконтроллера измеряют в MIPS (Million Instructions per Second — миллион инструкций в секунду).

### Виды микроконтроллеров

Условно микроконтроллеры можно разделить на три группы: простейшие, встраиваемы и универсальные. Простейшие микроконтроллеры используются в тех случаях, когда не требуется высокая производительность, но важна низкая стоимость. Встраиваемые в приборы и аппаратуру микроконтроллеры запрограммированы на реализацию узкоспециализированных задач (например, простейшие устройства — клавишные переключатели, индикаторы). Универсальные микроконтроллеры ориентированы на решение многочисленных задач в системах управления, регулирования и контроля.

### Типы корпусов микроконтроллеров

Основные типы корпусов микроконтроллеров приведены на рис. 3.9.

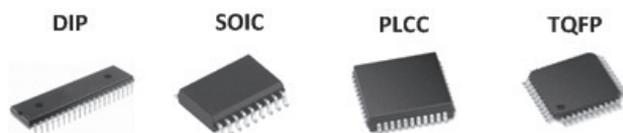


Рис. 3.9. Типы корпусов микроконтроллеров

**DIP (Dual In-line Package)** — корпус с двумя рядами контактов. Количество ножек в корпусе от 8 до 56.

**SOIC (Small Outline Integrated Circuit)** — планарная микросхема — ножки припаиваются с той же стороны платы, где находится корпус. При этом, микросхема лежит корпусом на плате. Количество ножек и их нумерация — такие же, как у DIP.

**PLCC (Plastic Lead Chip Carrier)** — квадратный (реже прямоугольный) корпус. Ножки расположены по всем четырем сторонам, и имеют J-образную форму (концы ножек загнуты под корпус). Микросхемы либо запаиваются непосредственно на плату (планарно), либо вставляются в панельку.

**TQFP (Thin Profile Quad Flat Package)** — среднее между SOIC и PLCC. Квадратный корпус толщиной около 1 мм, выводы расположены по всем сторонам. Количество ножек — от 32 до 144.

### Структура 8-ми разрядного микроконтроллера

На рис. 3.10 изображена упрощенная внутренняя структура микроконтроллера ATME1 AT89C2051. Микросхема выполнена в стандартном DIP-корпусе и имеет 20 выводов. Напряжение питания микросхемы + 5 В. Система команд совместима с широко распространенной микросхемой фирмы Intel — MCS-51.

**АЛУ** — арифметико-логическое устройство, заменяет процессор. Регистры процессора совмещены с ячейками внутреннего ОЗУ. ОЗУ данных имеет 128 восьмиразрядных ячеек памяти.

**ППЗУ программ** — перепрограммируемое ПЗУ объемом 2 килобайта выполнено по технологии Flash-памяти. В эту память записывается программа, которую микроконтроллер будет выполнять.

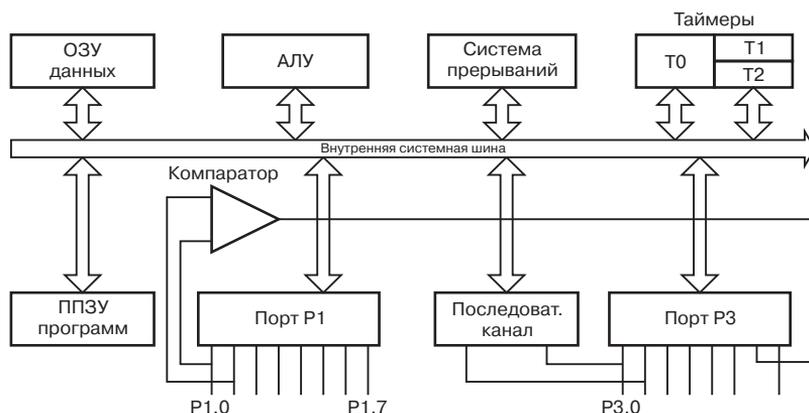


Рис. 3.10. Внутренняя структура микроконтроллера AT89C2051

**Порты P1 и P3** — это два восьмиразрядных порта ввода/вывода. Они имеют названия P1 и P3 по аналогии с MCS-51. Порт P3 не полный — линия P3.6 не выходит ни на один из внешних выводов микросхемы и используется, как вход сигнала от встроенного аналогового компаратора.

**Таймеры** — в микросхеме имеются два встроенных 16-разрядных таймера/счетчика T1 и T2. Они могут использоваться для задания любых интервалов времени. Причем счетчик T1 имеет режим работы, при котором он делится на два 8-разрядных таймера, каждый из которых может работать самостоятельно. Можно программно запустить и остановить любой из счетчиков. Каждый счетчик может работать в двух режимах: режиме отсчета временных интервалов (считают импульсы внутреннего тактового генератора), и в режиме подсчета внешних импульсов.

**Встроенный контроллер прерываний** способен обрабатывать шесть источников прерываний: два внешних запроса, прерывания от счетчиков/таймеров T1 и T2 (запрос прерывания поступает в тот момент, когда соответствующий счетчик/таймер досчитает до нуля) и два источника прерывания от последовательного канала ввода/вывода.

**Аналоговый компаратор** — на его выходе появляется сигнал лог. «1», когда напряжение на входе «+» превысит напряжение на входе «-».

**P1, P3 порты ввода/вывода** — регистры с побайтовой и побитной адресацией. Процессор может записать в них любое число, может также считать число из порта. Каждая из линий порта может рабо-

тать как выход или как вход. Записанное в порт число, немедленно появляется на соответствующих выводах.

### Регистры микроконтроллера

В микроконтроллере можно выделить служебные регистры (указатель адреса, регистр флагов, указатель стека), специальные регистры (регистры портов ввода/вывода, последовательного канала, таймеров, системы прерываний) и регистры общего назначения.

При помощи специальных регистров происходит управление режимами работы всех встроенных системных ресурсов микроконтроллера, они образуют своеобразный костяк микроконтроллера.

Регистры общего назначения (РОН) позволяют реализовать различные процессы и устройства виртуально, т. е. программным путем.

Т. о. микроконтроллер — это набор многофункциональных устройств, конкретные функции и режимы работы которых, определяются программой.

Пусть необходимо, **например**, получить прямоугольные импульсы, т. е. реализовать функцию мультивибратора. Для этого достаточно на одном из выводов порта обеспечить чередование с определенной периодичностью уровня лог. «0» и лог. «1». Специальные регистры обеспечат выбор необходимого вывода порта и установку его в работу на выход, и будут задавать уровни «0» и «1». На регистрах общего назначения можно создать счетчики, которые будут отмерять временные интервалы длительности импульса и паузы.

## 3.8. Языки программирования

### Назначение языков программирования

Языки программирования предназначены для связи человека с микропроцессорной системой. Эта связь заключается в передаче от человека в систему набор команд (инструкций), которые необходимо выполнить. Упорядоченный набор таких команд называется **программа**.

Т. о. языки программирования предназначены для написания компьютерных программ, содержащих инструкции по выполнению опре-

деленного процесса и организации управления какими-либо устройствами.

### Конструкция языков программирования

Программу на языке записывают в текстовом редакторе. Т. к. процессор понимает только цифровой двоичный код, написанные команды преобразуются в машинный код с помощью программы-переводчика, называемой **транслятором**. Различают два вида трансляторов:

- ♦ **интерпретаторы** — обрабатывают текст непосредственно во время написания программы, т. е. каждую строку по отдельности;
- ♦ **компиляторы** — преобразуют весь текст программы одновременно.

Работа программы состоит в обработке данных — констант и переменных. Действия над константами и переменными определяют операторы. **Оператор** является инструкцией языка.

Программа представляет собой последовательность операторов, записанных друг за другом. По своей структуре программы могут быть линейными, циклическими и ветвящимися.

### Уровни языков программирования

Различают уровни (по отношению к естественному, человеческому) языков программирования:

- ♦ низкого уровня — машинные языки;
- ♦ языки Ассемблера — близки к машинному;
- ♦ языки высокого уровня — приближены к человеку.

Пользование **машинным языком**, единственно понятным микропроцессору, вызывает трудности, связанные с необходимостью записи громоздких, трудно запоминаемых двоичных кодовых комбинаций, со сложностью поиска ошибок в составленной программе, представляющей собой последовательность цифровых кодов, с трудностью внесения изменений в составленную программу.

Наряду с указанными недостатками язык кодовых комбинаций имеет и достоинства. Программа на этом языке оказывается наиболее эффективной, она занимает минимальный объем памяти и быстрее исполняется.



### Пример.

Для представления машинного языка используем DOS программу DEBUG — специальная программа, входящая в состав утилит MS-DOS, для ввода и пошагового выполнения программ, написанных на машинном языке или с помощью команд Ассемблера (рис. 3.11).

```

C:\ H:\WINDOWS\system32\debug.exe
-E CS:100 B8 23 01 05 25 00
-E CS:106 8B D8 03 D8 8B CB
-E CS:10C 2B C8 2B C0 90
-D
0CB3:0100 B8 23 01 05 25 00 8B D8-03 D8 8B CB 2B C8 2B C0 .#..%.....+.+.
0CB3:0110 90 7F E6 7F D8 0B C0 74-0C 5D 04 00 34 00 A2 0C .....t.=.4...
0CB3:0120 8A 88 8F EB 06 B8 02 00-E8 91 FF F9 C3 FF 05 00 .....
0CB3:0130 A2 FC 03 88 02 F7 03 97-02 EC 03 C6 02 02 04 E0 .....
0CB3:0140 02 07 04 FC 02 0B 04 0C-03 26 04 1D 03 04 04 2D .....&.....
0CB3:0150 03 15 04 44 03 11 04 5D-03 12 04 7E 03 13 04 9F ...D...l...~....
0CB3:0160 03 EA 03 B8 03 EB 03 E1-03 EF 03 FF 03 F0 03 34 .....4
0CB3:0170 04 F1 03 4C 04 F2 03 64-04 F3 03 84 04 F6 03 A5 ...L...d.....
  
```

Рис. 3.11. Просмотр содержимого ячеек памяти в окне программы DEBUG

Текст программы, представленной в шестнадцатеричном формате:

Команда	Назначение	Мнемоника
B8 23 01	Переслать шест. значение 0123 в AX	MOV AX,0123
05 25 00	Прибавить шест. значение 0025 к AX	ADD AX,0025
8B D8	Переслать содержимое AX в BX	MOV BX,AX
03 D8	Прибавить содержимое AX к BX	ADD BX,AX
8B CB	Переслать содержимое BX в CX	MOV CX,BX
2B C8	Вычитать содержимое AX из AX (очистка AX)	SUB CX,AX
90	Нет операции	

Трудности программирования уменьшаются при использовании языка Ассемблера. В этом языке вместо кодовых комбинаций применяется мнемоническая форма записи операций (мнемоники), выполняемых в микропроцессоре. Такой мнемонической записью (в виде сочетания букв, взятых из соответствующих английских слов: MOV — перемещение, ADD — сложение, SUBB — вычитание) представляют вид выполняемой операции, операнды и адреса. Каждой команде на языке Ассемблера соответствует команда на языке кодовых комбинаций.

Язык Ассемблера упрощает запись команд, облегчает поиск в ней ошибок, обеспечивает лучший обзор программы и простоту внесения исправлений в программу.

Перед исполнением программа должна быть переведена с языка Ассемблера на язык кодовых комбинаций и в таком виде помещена в память микропроцессорной системы. Этот перевод осуществляется на компьютере с помощью программы трансляции, называемой Ассемблером.

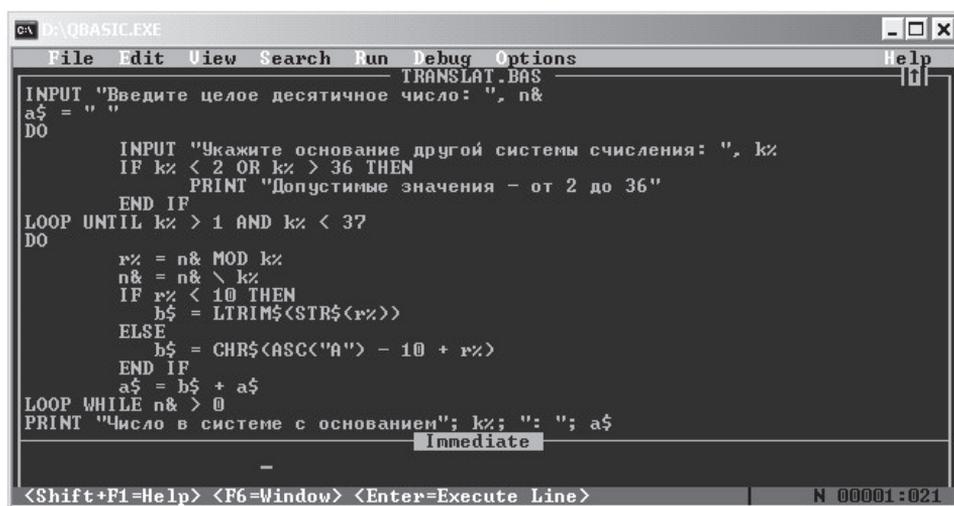
Язык Ассемблера (так же, как и язык кодовых комбинаций) индивидуален для каждого типа микропроцессора и микроконтроллера.

**Языки высокого уровня** близки к обычному математическому языку, описывающему процесс решения задачи, поэтому они легко усваиваются. Кроме того, они обеспечивают большую компактность программы (сложные вычислительные процессы представляются короткими записями), что улучшает обзор программы и выявление в ней ошибок.

Простейшим языком программирования высокого уровня является BASIC («Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code» — универсальный код символических инструкций для начинающих), созданный в 1964 году и до сих пор широко применяемый.

На **рис. 3.12** представлена программа-пример «Перевод числа в иную систему счисления», написанная в текстовом редакторе языка BASIC.

Для программирования в машинных кодах и кодах Ассемблера необходимо досконально знать архитектуру процессора (микроконтроллера), набор команд, владеть хотя бы основами програм-



```

CA \>BASIC.EXE
File Edit View Search Run Debug Options Help
TRANSLAT.BAS
INPUT "Введите целое десятичное число: ", n%
a$ = " "
DO
  INPUT "Укажите основание другой системы счисления: ", k%
  IF k% < 2 OR k% > 36 THEN
    PRINT "Допустимые значения - от 2 до 36"
  END IF
LOOP UNTIL k% > 1 AND k% < 37
DO
  r% = n% MOD k%
  n% = n% \ k%
  IF r% < 10 THEN
    b$ = LTRIM$(STR$(r%))
  ELSE
    b$ = CHR$(ASC("A") - 10 + r%)
  END IF
  a$ = b$ + a$
LOOP WHILE n% > 0
PRINT "Число в системе с основанием"; k%; ": "; a$
Immediate
<Shift+F1=Help> <F6=Window> <Enter=Execute Line> N 00001:021

```

Рис. 3.12. Программа «Перевод числа в иную систему счисления», написанная на языке BASIC

мирования, т. е. быть «специалистом». Для написания программ на языке высокого уровня достаточно знать основы программирования. Поэтому языки Ассемблера постепенно вытесняются языками высокого уровня: например Ассемблер для микроконтроллеров заменяется языком Си.

Для дальнейшей популяризации аппаратных средств и программных продуктов разработаны графические языки программирования, в которых необходимый алгоритм работы реализуется с помощью типовых блоков и связей между ними. Такая тенденция наблюдалась в интерфейсах операционных системах, который был командный (для работы необходимо вводить команды, причем знать какие), а стал графически — нажал на картинку и работа «пошла».

### 3.9. Применение микропроцессорных систем в электротехнике

Говорить о применении микропроцессорных систем, это значит говорить практически обо всех технических устройствах, которые нас окружают. В любой области электротехники: в электроснабжении, электроприводе, электроосвещении применяются от простейших схем под управлением 8-разрядных микроконтроллеров до самых сложных микропроцессорных систем с многоуровневым сетевым управлением.

Обратим внимание на программируемые контроллеры (их также называют программируемые реле) LOGO! Siemens, предназначенные для построения наиболее простых устройств автоматического управления. Почему LOGO! Siemens? Потому что для работы с ним не требуется специальных знаний по микропроцессорной технике и языкам программирования, а достаточно основ электротехники и цифровой электроники (тоже основ). Кроме того, программные продукты компании Siemens распространяются в свободном доступе.

На **рис. 3.13** показан внешний вид контроллера LOGO! Basic и модуля расширения.

Алгоритм функционирования модулей задается программой, составленной из набора встроенных функций — FBD (Function Block Diagram) — графический язык программирования. Программирование модулей может производиться либо с компьютера, оснащенного про-

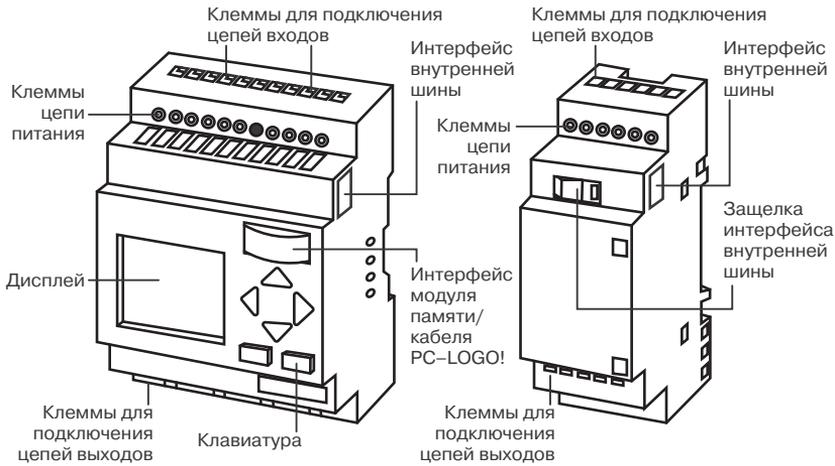


Рис. 3.13. Конструкция контроллера LOGO! Basic и модуля расширения

граммой LOGO Soft Comfort, либо установкой запрограммированного модуля памяти, либо с их клавиатуры (при ее наличии) без использования дополнительного программного обеспечения.

Стоимость контроллера и модулей расширения не высока, что дает возможность применять их даже для автоматизации не сложных процессов.

Возьмем пример, предложенный самой компанией Siemens, смесительное устройство. На рис. 3.14 представлена блок-схема смесительного устройства.

#### Формулировка задания:

По команде запуска (SB1) открыть вентиль Y1 и заполнить бак до отметки SL2. Закрыть вентиль Y1, открыть вентиль Y2 и заполнить бак до отметки SL1. Закрыть вентиль Y2 и на 15 минут включить смеситель. Открыть вентиль Y3 и слить полученную смесь. По сигналу датчика SL3 закрыть вентиль Y3 и привести схему в исходное состояние.

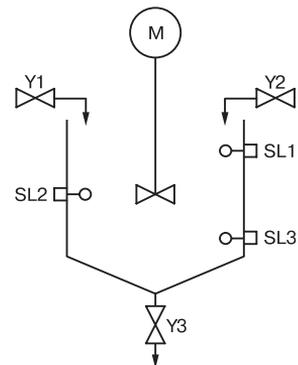


Рис. 3.14. Блок-схема смесительного устройства

**Исполнительные устройства:**

М — электродвигатель смесителя;

Y1 — вентиль подачи компонента 1;

Y2 — вентиль подачи компонента 2;

Y3 — вентиль выпуска готовой смеси.

**Датчики и органы ручного управления:**

SL1 — датчик полного заполнения бака;

SL2 — датчик заполнения бака компонентом 1;

SL3 — датчик опустошения бака;

SB1 — кнопка запуска установки.

Исходя из технического задания, составим классическую релейно-контакторную схему (рис. 3.15). Традиционно устанавливаем кнопку «Стоп» SB1, поэтому кнопка запуска установки становится SB2.

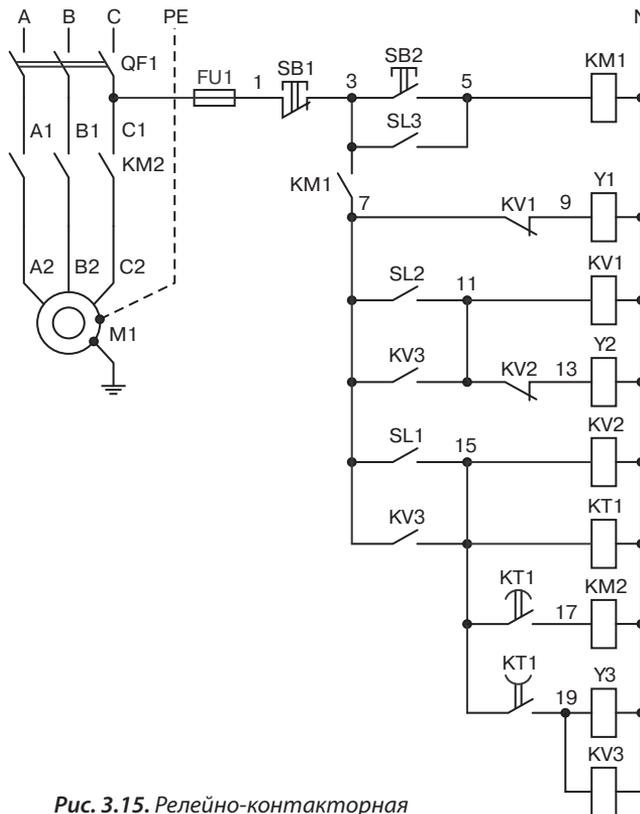


Рис. 3.15. Релейно-контакторная схема смесительного устройства

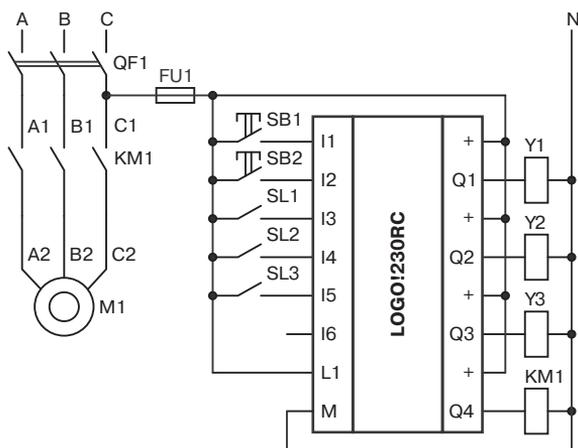


Рис. 3.16. Схема смесительного устройства на контроллере LOGO!

Эта же схема, выполненная на контроллере LOGO! (рис. 3.16). Однозначно проще, а ведь использована только малая часть возможностей контроллера. Кроме самого контроллера в схеме из элементов присутствуют только датчики, органы управления и исполнительные механизмы. Значит схема намного надежнее своего классического аналога.

Маркировка контроллера LOGO!230RC указывает: питающее напряжение 115—240 В постоянного или переменного тока, выходы релейного типа (ток нагрузки 3 А для индуктивной нагрузки).

Для программирования LOGO! необходимо создание коммутационной программы. Коммутационная программа создается с помощью пакета LOGO!Soft Comfort — программное средство для программирования LOGO!, которое используется для простого и быстрого создания, тестирования, изменения, сохранения и распечатки коммутационных программ.

У LOGO! есть входы и выходы. Входы обозначаются буквой I и номером. Выходы обозначаются буквой Q и номером.

Цифровые входы и выходы могут принимать состояние «0» или «1». «0» означает, что на входе нет напряжения; «1» означает, что оно есть.

Блок в LOGO! — это функция, которая преобразует входную информацию в выходную информацию.

На рис. 3.17 представлен вариант коммутационной схемы контроллера смесительного устройства, созданный в среде LOGO!Soft

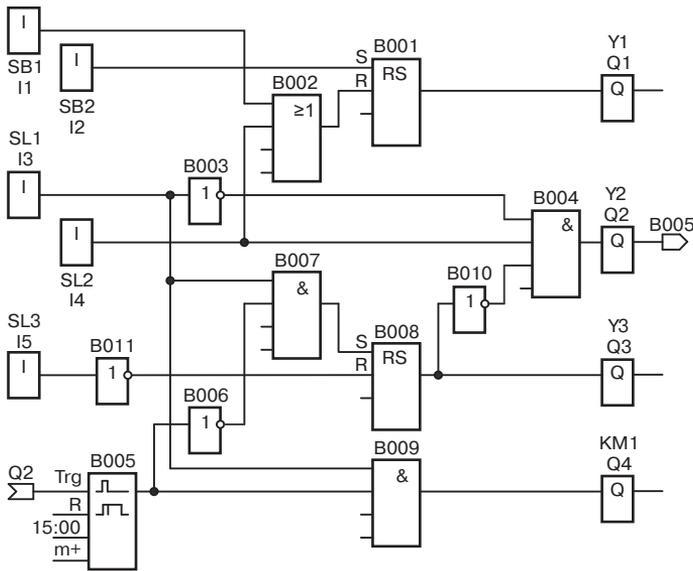


Рис. 3.17. Коммутационная схема смесительного устройства на контроллере LOGO!

Comfort. При создании коммутационной программы связываем соединительные элементы с блоками. Простейшими блоками являются логические операции. Также в схеме использованы триггеры и блок задержки выключения.

Коммутационная программа отражает алгоритм (логику) работы схемы управления. Графически реализованная схема на типовых блоках и соединительных элементах в дальнейшем преобразуется в логическую структуру контроллера.

## БЕРЕМ В РУКИ ПАЯЛЬНИК

*Умение хорошо паять — черта каждого продвинутого радиолюбителя. Это мастерство, которое дается радиолюбителю в результате практики. А еще нужно правильно подобрать паяльник, припой, флюс. Чтобы этим овладеть, нужно познать все секреты техники пайки. Полезны будут и радиолюбительские схемы, позволяющие поддерживать нужную температуру жала паяльника. Об этом и многом другом вы прочтете в этой главе.*

### 4.1. Что такое пайка?

#### Первое знакомство

Пайка является основой радиолюбительского творчества. Она представляет собой способ соединения металлов с помощью другого, более легкоплавкого металла. **Процесс пайки** представляет собой проникновение одного вещества (металла) в другой при высокой температуре, что обеспечивает после затвердения припоя механическую прочность и высокую электропроводность соединения. Радиолюбительская пайка обычно происходит при высоких температурах спаиваемых поверхностей и расплавленного олова (от 180 до 250 °С). В этом процессе одним из металлов являются свариваемые проводники, вторым — припой. Дадим теперь развернутое определение этому важнейшему для радиолюбителя понятию.



**Это полезно запомнить.**

***Пайка** — процесс, применяемый для получения неразъемного соединения металлических деталей из различных материалов путем введения между этими деталями расплавленного материала (припоя), имеющего более низкую температуру плавления.*

А вот что про сварку сказано в энциклопедическом словаре: «*Это технологическая операция, применяемая для получения неразъемного механического и электрического соединения деталей из различных материалов. Спаиваемые элементы деталей, а также припой и флюс вводятся в соприкосновение и подвергаются нагреву с температурой выше температуры плавления припоя, но ниже температуры плавления соединяемых деталей. В результате, припой переходит в жидкое состояние и смачивает поверхности деталей. После этого нагрев прекращается, и припой переходит в твердую фазу, образуя соединение. Нагрев деталей и припоя производится специальным инструментом, который называется паяльником.*

*В зависимости от типа деталей, которые подвергаются соединению, требуемой прочности соединения, применяют различные типы паяльников и различные типы припоев и флюса».*

### Особенности процесса пайки

Т. о. пайка основана на явлении **диффузии**, т. е. на взаимном проникновении частиц расплавленного **припоя** и основного металла друг в друга. Это проникновение и обеспечивает после затвердения припоя механическую прочность и высокую электропроводность соединения.

Следует отметить, что поверхность металла на воздухе обычно покрывается слоем **оксида**, поэтому ее перед пайкой требуется **зачистить**. Но зачищенная поверхность вновь может быстро окислиться. Во избежание этого на обработанные места наносят химические вещества — **флюсы**. Подробно мы их рассмотрим далее.

Флюсы повышают текучесть расплавленного припоя. Благодаря этому пайка получается прочнее. При радиотехнических монтажных работах применяются обычно бескислотные флюсы, например, **канифоль**.

В результате пайки образуется механический и электрический контакт между металлическими поверхностями, способный выдерживать значительные механические нагрузки.



#### **Это интересно знать.**

*Для качественной пайки недостаточно нагреть одну поверхность с оловом и прислонить к ней другую: обязательное условие образования надежного контакта — **равные температуры спаиваемых***

*поверхностей. Естественно, что добиться этого можно только при помощи верно подобранного инструмента.*

Для качества пайки очень большое значение имеет соотношение температуры жала паяльника и температуры плавления припоя:

- ♦ **низкая температура жала паяльника** приведет к размягчению припоя, но не к его расплавлению. Результат — холодная пайка (узнать можно по зернистой структуре контакта).
- ♦ **высокая температура жала паяльника** — чрезмерное выпаривание припоя. И тот, и другой дефект приводит к рассыпанию/расслоению контакта через некоторое время эксплуатации.



#### **Будьте осторожны.**

*Не нужно забывать и о предельных температурах электронных компонентов: пайка при температуре более 250 °С должна проходить за несколько секунд. В противном случае интегральные компоненты можно запросто пережечь.*

## **4.2. Оборудуем рабочее место радиолюбителя**

### **Что нужно купить для пайки**

Для обучения пайке достаточно любого паяльника 25—40 Вт. Лучше сразу купить с регулятором температуры (с термодатчиком) или хотя бы с регулятором мощности (без термодатчика).



#### **Совет.**

*Не покупайте сразу дорогое оборудование типа паяльной станции или паяльник с керамическим жалом. Поучитесь на простых вещах.*

Не используйте, пока не разбераетесь, **специальные флюсы и кислоты** — это нужно ТОЛЬКО для плохопаяющихся деталей и проводов. После применения хитрых составов (флюсов) их необходимо удалять не менее хитрыми составами, а чаще всего люди удаляют их спиртовой смесью, что опять же вредно для многослойной платы. А канифоль легко отколупывается иглой после пайки. Привыкайте к чудному запаху сосновой канифоли.

## Инструмент для радиолюбителя

Вместе с паяльником неплохо приобрести различные принадлежности и инструмент. Если вы однажды поработали с хорошим инструментом, то потом вряд ли захотите работать с плохим. Поэтому лучше один раз купить хороший инструмент, чем несколько раз плохой.

Понадобятся такие **инструменты**:

- ♦ маленькие кусачки — для проводов, выводов деталей и снятия изоляции;
- ♦ напильник — для зачистки жала паяльника;
- ♦ пинцет — чтобы пальцы не обжигать;
- ♦ медицинский скальпель или канцелярский нож;
- ♦ игла от шприца с затупленным кончиком;
- ♦ тонкое шило.



### Совет.

*Не пользуйтесь маникюрными кусачками, они предназначены для резки мягких ногтей. Поэтому перекусывание проводов и выводов радиоэлементов быстро выведет их из строя, и вызовет справедливый гнев вашей мамы, подруги или жены.*

По мере приобретения опыта в ремонте и изготовлении электронных схем этот ваш арсенал будет постепенно расширяться и модифицироваться.



### Совет.

*Режущие части в сомкнутом состоянии у хороших бокорезов должны соприкасаться только на концах. Не покупайте бокорезы, у которых или кромки неровные, или не сходятся концы, или кромки соприкасаются не на концах, а в каком-либо другом месте.*

Настоятельно рекомендую купить цифровой тестер. Всегда полезная вещь в хозяйстве. И напряжение померить, и сопротивление..., да и стоит копейки.

Хорошая мастерская, а особенно набор инструментов создаются годами. Тем более, когда приходит мастерство, то покупные инструменты уже не удовлетворяют нашим требованиям, приходится изготавливать инструменты своими руками. Но для этого нужно иметь не только рабочее место, но и соответствующее оборудование.

## Рабочий стол — своими руками

Мастерская радиолюбителю нужна не только для работ с радиоэлектронными приборами и конструкциями, но и для общих домашних работ. Современные квартиры, как правило, не оставляют нам возможности оборудовать свое рабочее место в отдельной комнате, поэтому можно использовать любой свободный угол.

Крепление полок к стене, планировка уголка и нижнего шкафа — дело вашей фантазии и умения. От верхнего шкафчика (дверцы которого можно оклеить обоями комнаты) можно и отказаться.

Для размещения инструмента можно использовать планки с постоянными магнитами или самодельный набор из магнитных дверных защелок.

На поверхности стола оборудуйте специальное поле, покрытое асбестом — для работы с паяльником, кислотами и растворителями.

Для **особо мелких деталей** одного назначения приспособьте пластмассовые коробочки для кактусов, склеенные (скрепленные) в наборную кассу. Или купите специальные емкости в специализированном магазине.

Для **деталей средней величины** хорошо подходят прямоугольные коробочки из-под сметаны, которые имеют очень удобные бортики, хорошо входящие в специально прорезанные пазы.

**Микросхемы**, кроме стандартных пластмассовых коробок, удобно хранить в листах пенопласта, вложенных в коробку из-под обуви.

Шкафчики вверху и внизу могут вмещать в себя ЗИП, электродрель (малый сверлильный станок), ЛАТР, различные напильники, лобзик, малую ручную дрель, различные емкости с лаками, клеями, растворителями и хлорным железом.

Особое место выделите для **измерительных приборов**, отдельно разместите малые тиски с наковальней, большие тиски и т. д.

Позаботьтесь о **емкости с низкими бортами** и достаточно большой площадью для **мусора** — откусанных выводов и снятой оплетке.



### Совет.

*Очень хорошо для такого мусора подходит пластиковая одноразовая тарелка (не стоит касаться ее жалом разогретого паяльника!).*

### Электропитание и освещение рабочего места

Обязательно предусмотреть местное освещение рабочего места, желательно с лампой дневного света на кронштейне. Для людей с ослабленным зрением или с недостатками зрения этот кронштейн можно снабдить большой лупой, закрепленной на нем.



#### Совет.

*Свет должен падать на плату так, чтобы рука с паяльником не закрывала его.*

Пульт электропитания в лаборатории радиолюбителя должен обеспечивать:

- ♦ регулируемое напряжение постоянное (выпрямленное) и переменное 0—250 В (ЛАТР);
- ♦ питание для паяльника;
- ♦ любое нужное напряжение постоянного тока для питания любых конструкций.

## 4.3. Паяльник или паяльная станция?

### Сколько паяльников должен иметь радиолюбитель

Паяльник — один из основных инструментов радиолюбителя. По своей конструкции и мощности паяльники могут быть различными. Всем понятно, что для пайки радиатора водяного охлаждения автомобиля и для ремонта сотового телефона потребуются различные типы паяльников.

Традиционные паяльники имеют такие **мощности**:

- ♦ паяльники 3—10 Вт предназначены для распайки супер мелких микросхем;
- ♦ паяльники 20—40 Вт считаются бытовыми и радиолюбительскими;
- ♦ паяльники 60—100 Вт применяют, например, сотрудники автосервиса для распайки толстых проводов;
- ♦ паяльники 100—250 Вт используют для запайки кастрюль, радиаторов и прочего крупногабаритного металла.

**Совет.**

*Т.к. радиолюбителю чаще всего приходится паять тонкие проводки, резисторы, светодиоды и прочую мелочь, поэтому приобретайте 20—25 ваттный паяльник. Ведь радиодетали не любят перегрева, и выходят от него из строя. Вот так, не переусердствуйте.*

Опыт многих практиков говорит, что даже для легких сборочных работ радиолюбителю желательно иметь два паяльника различного типа. Большинство печатных плат и простых радиолюбительских самоделок можно паять с помощью паяльника 25—40 Вт с прямым или изогнутым жалом. Для более крупных работ следует использовать паяльники на 100 и более ватт.

**Это интересно знать.**

*Следует запомнить: правильно выбранное жало облегчает работу, поэтому следует иметь несколько тонких конических и плоских жал и одно плоское широкое для распайки микросхем. С точки зрения техники безопасности рекомендуется иметь паяльники на напряжение не выше 36 В.*

### Требования для паяльного оборудования радиолюбителя

**Будьте осторожны.**

*Работа с электрическим паяльником не безопасна — можно обжечься, так как медный стержень и кожух паяльника нагреваются до высокой температуры. Поэтому необходимо держать нагретый паяльник только за ручку и не касаться его нагретых частей. Кроме того, надо следить, чтобы нагретые части паяльника не касались изоляции питающего провода или шнура, так как горячий кожух или стержень могут вызвать разрушение изоляции, короткое замыкание и пожар.*

Теперь определим требования для паяльного оборудования радиолюбителя.

**Вид паяльного оборудования:** паяльник/станция. Желательно приобретать не просто паяльник, а паяльную станцию, которая имеет такие преимущества:

- ♦ регулируемый диапазон нагрева (вероятность пережечь компоненты сводится к нулю);

- ♦ поддержание постоянной температуры жала (жало не перегорает, значит, снижаются затраты на расходные материалы);
- ♦ важная особенность всех паяльных станций — наличие подставки под паяльник (вещь необходимая) и ванны для очистной губки — не захотите покупать станцию, будете искать эти вещи отдельно.

**Мощность паяльника** — вещь во многом определяющая качество пайки. При пайке печатных плат вполне достаточно паяльника с мощностью 25—40 Вт. Конечно, при пайке проводов сечением в 10 мм вам и 100 Вт будет мало. Но здесь речь идет о пайке плат.

**Напряжение питания.** На территории России стандартом является напряжение 220 В  $\pm 10\%$ , 50 Гц. Хотите паять, подключаясь к сети электропитания — покупайте паяльник/станцию с таким питанием. Для пайки в автомобиле или в местах, где сложно найти розетку, можно найти паяльник с питанием 12/18/24 В или газовые паяльники.

**Форма жала.** Это важный параметр при пайке плат. Сейчас для паяльников/станций предлагается широкий ассортимент жал — лопатка, конус, игла и т. д. Какое выбирать дело ваше: каждому удобно паять тем, чем он привык. Удобен, например, набор лопаток разных размеров.

**Стойкость жала.** Это немаловажный параметр. Вы можете найти термостойкие жала, которым не страшен длительный перегрев. Удобно, но дорого.

**Антистатические паяльные станции.** Если вы готовы выложить более 100\$ за паяльную станцию — вы получите антистатическую защиту (полезно при пайке полевых элементов и других капризных элементов). Но можно самостоятельно доработать обычную станцию/паяльник: заземление жала в большинстве случаев помогает. Это конечно не та антистатика, которая есть в навороченных станциях, но помогает не хуже.

### Подставка для паяльника

Включенный паяльник нагревается до 300 °С, поэтому его кладем на подставку (или вставляем в подставку, в зависимости от ее конструкции), справа от себя, на краю стола. Соблюдаем правила безопасности, контролируем его сетевые провода и предупреждаем окружающих. Пример подставки для паяльника приведен на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Внешний вид пружинной подставки для паяльника

### Устройство стержневого паяльника

Устройство стержневого паяльника показано на рис. 4.2, а. Нагревающаяся часть паяльника — медный стержень с заостренным под углом 30—45° концом — жалом. Стержень вставлен в металлическую трубку, вокруг которой располагается нагревательный элемент в оболочке из теплостойкой изоляции — керамики или слюды. Концы спирали присоединены к проводам питающего шнура (провода) с вилкой. Нагревательный элемент закрыт снаружи кожухом. Шнур паяльника пропущен через его ручку (пластмассовую или деревянную). При включении в электрическую сеть нагревательный элемент паяльника нагревается до температуры 300—350 °С и его тепло передается медному стержню, которым плавят припой и нагревают соединяемые детали. Электрическая схема паяльника приведена на рис. 4.2, б.

Промышленностью выпускаются электрические паяльники, рассчитанные на напряжение городской осветительной сети 220 В, а для школ — паяльники, рассчитанные на напряжение 42 В. Это связано с обеспечением безопасности учащихся. При случайном прикосновении к токоведущим частям паяльника или при его электрическом пробое через тело человека пойдет электрический ток. Этот ток будет тем больше, чем больше электрическое напряжение. Поэтому электропаяльник под напряжением 42 В безопаснее паяльника под напряжением 220 В.

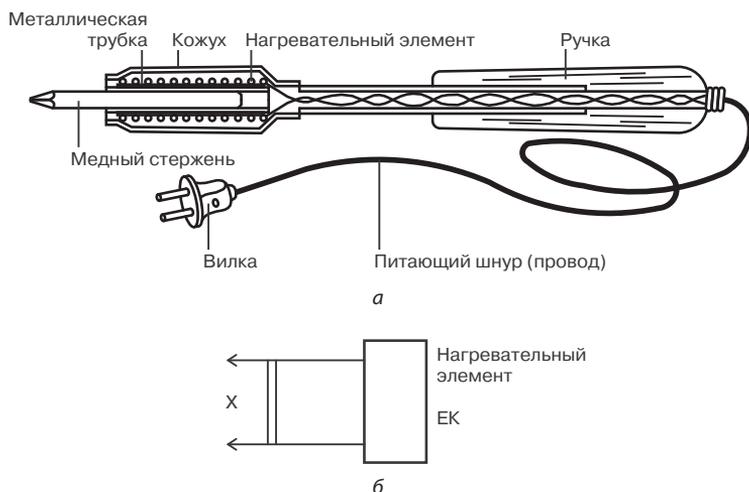


Рис. 4.2. Электрический стержневой паяльник:  
а — устройство; б — принципиальная схема

### Стержневые паяльники

Наибольшее распространение у радиолюбителей получили **паяльники с медным жалом на 25—40 Вт 220 В** — прямым или изогнутым. Нагревательным элементом в них обычно служит проволока из специального сплава, например, нихрома, намотанная на медный стержень (жало). Для изоляции намотки от стержня между ними прокладываются слои слюды.

Чаще всего в быту встают такие задачи:

- ♦ удлинить провода;
- ♦ припаять разъемы к антенному кабелю или к сетевому разъему;
- ♦ спаять несложную схему из обычных деталей.

Т. е. выбор паяльника должен зависеть от того, какие детали будут подвергаться пайке. Для всех этих работ вполне будет достаточно обычного паяльника на напряжение 220 В и мощностью от 25 до 40 В.

**Достоинства** такого паяльника — доступная цена. Купить его можно за 30—100 рублей практически в любом хозяйственном магазине.

**Первый недостаток** такого паяльника — **нет возможности регулировки температуры**, жало перегревается, окисляется и обгорает, поэтому его постоянно приходится чистить и периодически затачивать. Вследствие этого, срок службы такого паяльника (особенно при интенсивном ежедневном использовании) невелик. К перегретому жалу плохо прилипает припой, есть возможность повредить чувствительные к нагреву детали во время пайки. Особенно это касается светодиодов, транзисторов в пластмассовых корпусах и т. п.

**Второй недостаток** паяльника, подключаемого непосредственно к сети 220 В, — это **плохая изоляция между жалом паяльника и питающей сетью**. Таким паяльником легко повредить чувствительные к статическому электричеству элементы. Но как я уже говорил, для простейших работ для начинающих он вполне подходит.

Если же встает задача пайки массивных деталей, например, соединения медных трубок в системе водяного охлаждения, пайки радиаторов, корпусов или проводов сечением с буксировочный трос — то тогда потребуется более **мощный паяльник на 100—200 Вт** мощности. Тут потребовался «топорик» мощностью 200 Вт.

### Импульсные паяльники «пистолетного» типа

Все большее распространение получают **импульсные паяльники «пистолетного» типа (рис. 4.3)** с внешним съемным нагревательным

элементом. Съёмный нагревательный элемент обычно изготавливают из неизолированного медного провода диаметром около 1 мм. Такой элемент выдерживает 30—40 паяк, после чего его приходится заменять новым.

Если же для этой цели использовать посеребренный медный провод (серебро должно быть нанесено гальваническим способом), то нагревательный элемент будет служить дольше.

Это паяльник с открытым нагревателем — одна из разновидностей бытового паяльника. Он появился в СССР еще в 70-е годы прошлого века.

Паяльник представляют собой прибор в форме пистолета, на конце которого находятся два электрических контакта и подсветка (рис. 4.4). На контакты закрепляется нагревательный элемент. Внутри находился трансформатор, понижавший сетевое напряжение до нескольких вольт, которые и подводились к контактам.

Нагревается такой паяльник за 10 с. Современные паяльники вместо лампочки накаливания имеют LED-подсветку.



#### Совет.

Такие паяльники очень удобны для разогрева шурупов, если они не выкручиваются.

Сменные насадки для импульсного паяльника (рис. 4.5) позволяют производить любые радиомонтажные работы быстро и качественно.

## Паяльные станции

Если вы решили, что пайкой будете заниматься регулярно, тогда имеет смысл задуматься о приобретении паяльной станции (рис. 4.6). Преимущества перед простейшим паяльником очевидны.



Рис. 4.3. Внешний вид импульсного паяльника

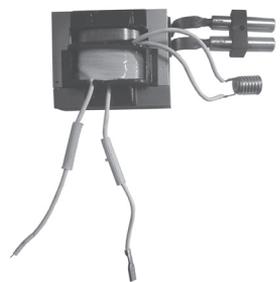


Рис. 4.4. Внутреннее устройство импульсного паяльника

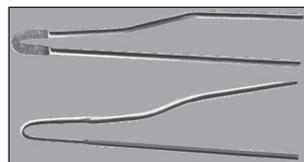


Рис. 4.5. Сменные насадки для импульсного паяльника

**Во-первых**, в паяльных станциях используются низковольтные паяльники, которые подключены к сети через понижающий трансформатор. Это резко уменьшает наводки, возникающие на жале паяльника, и практически сводит на нет риск повреждения статическим электричеством чувствительных деталей.

**Во-вторых**, паяльные станции имеют систему регулировки и поддержания температуры жала на определенном уровне. Такой паяльник не перегреет детали или плату. Паяльники, которыми комплектуются паяльные станции, обычно имеют возможность смены жала. Поэтому с разными насадками такой паяльник можно использовать как для пайки толстых проводов, так и для миниатюрных деталей.

**В-третьих**, жало таких паяльников, как правило, покрыто специальным защитным слоем, предотвращающим его окисление и существенно продлевающим срок службы паяльника.

**В-четвертых**, в комплекте с паяльной станцией всегда идет удобная подставка под паяльник — вещь весьма необходимая особенно при частом использовании.

**В-пятых**, немаловажное преимущество паяльной станции — это малое время разогрева до рабочей температуры. В большинстве случаев пайку можно начинать меньше чем через минуту после включения.

За такой набор удобств, однако, приходится платить. Самые простые и дешевые модели можно приобрести по цене до 1000 руб. Но есть и очень «навороченные» паяльные станции оснащенные целым арсеналом всевозможного инструмента, который может пригодиться для создания и ремонта электронной аппаратуры. Цена такого комплекта от известного производителя, типа американской фирмы Раса, может достигать не одной тысячи долларов.



*Рис. 4.6. Внешний вид цифровой паяльной станции WDD81V (95 Вт, 230 В)*

### **Термовоздушные паяльные станции**

Сейчас повсеместно используется так называемый **поверхностный монтаж элементов**. Другие названия поверхностного монтажа: наплатный, планарный, SMD-монтаж (Surface-Mount Device — элемент для поверхностного монтажа). Компоненты, которые используются для поверхностного монтажа, называют SMD-компонентами.



*Рис. 4.7. Внешний вид  
термовоздушной паяльной станции  
997 ESD*

Взгляните на современную плату (например, на материнскую плату компьютера). Первое, что бросится в глаза — огромное количество мелких деталей, припаянных непосредственно на поверхность платы.

Возникает резонный вопрос, каким образом паять такие элементы? В заводских условиях все эти элементы припаиваются групповым методом — плату с установленными на ней деталями помещают в спе-

циальную печь и нагревают до температуры плавления припоя. Для ремонта таких плат или изготовления своих схем по такой технологии применяют так называемые **термовоздушные паяльные станции** (рис. 4.7). Принцип работы такого паяльника абсолютно аналогичен работе обычного фена для сушки волос. Разница только в температуре воздуха, который выходит из наконечника фена.

Такие паяльные станции позволяют регулировать температуру воздуха на выходе от 100 до 450—500 °С, также есть возможность регулировки воздушного потока. Сейчас получили распространение **комбинированные паяльные станции**, где в одном корпусе помещается как термовоздушный паяльник, так и обычный.

Такой паяльный агрегат позволяет провести ремонт практически любой электронной схемы с любым типом применяемых деталей. Цены тоже вполне доступны. Такую паяльную станцию начального уровня можно приобрести 2500—3000 рублей.

Людам, всерьез решившим заняться ремонтом и изготовлением электронных схем, я бы порекомендовал именно такой вариант паяльника.

Кроме пайки электронных компонентов феном паяльной станции очень удобно обсаживать термоусадочную трубку. Можно сгибать или сваривать пластмассу. С его помощью можно удалять старую краску с небольших металлических деталей. Так что спектр применения такого оборудования далеко не ограничен задачами пайки проводов и радиодеталей.

### Газовые паяльники

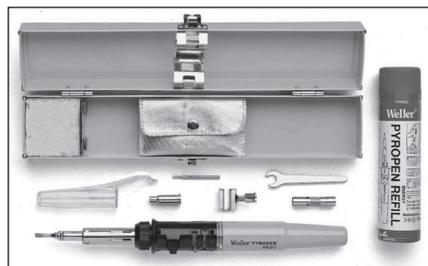
В **газовых паяльниках** разогрев жала осуществляется не электрическим током, а пламенем небольшой газовой горелки. Заправляется

он обычным газом, применяемым в газовых зажигалках. Например, на фотографии изображен внешний вид газового паяльника. Такой паяльник может работать вдалеке от источников тока. Например, если вам надо припаять кабель к антенне на крыше дома или произвести починку электрооборудования или радиатора автомобиля в долгой дороге. Газовый паяльник Weller Pyropen-Piezo в комплекте изображен на **рис. 4.8**.



#### **Это интересно знать.**

*Если снять с этого паяльника жало, то он превращается в портативную газовую горелку, которая дает пламя температурой близкой к 1000 градусов.*



**Рис. 4.8.** Газовый паяльник Weller Pyropen-Piezo в комплекте

Такой горелкой можно паять небольшие детали с применением твердых высокотемпературных припоев, которые «не по зубам» обычным паяльникам.

Для частой повседневной пайки такой паяльник, однако, не годится. Разоритесь на газе, да и фирменное изделие имеет ценник с тремя нулями. Когда возникнет необходимость паять вдали от электричества такой автономный газовый паяльник легко сделать самостоятельно.

Наверняка многие видели в продаже недорогие (до 100 рублей) китайские газовые горелки. Такая горелка вполне может послужить основой для самодельного газового паяльника, который справится со своей задачей ничуть не хуже фирменного собрата. Кроме газовой горелки потребуется еще медное жало от обычного паяльника, латунная или стальная гайка М6 или М8 — в зависимости от толщины применяемого жала, три велосипедных спицы и винтовой хомут для водопроводного шланга.

### **Газовый паяльник своими руками**

Технология изготовления простая. Ее на сайте <http://datagor.ru/nachinajushhim/369-glavnyjj-instrument.html> излагает *Тимошкин Александр*, г. Ижевск.

На торце паяльного жала нарезается резьба под имеющуюся в наличии гайку. Затем в трех боковых гранях гайки сверлятся отверстия диаметром

2,2 мм, в них нарезается резьба М3. Сверлить латунную или бронзовую гайку и нарезать в ней резьбу гораздо легче, чем в стальной.

Гайка накручивается на паяльное жало, а в боковые грани гайки вкручиваем кончики велосипедных спиц. Если нет под рукой велосипедных спиц, — подойдут любые стальные шпильки диаметром 3 мм, на концах которых тоже нарезаем резьбу М3. Остается загнуть спицы под углом 90 градусов и с помощью винтового хомута закрепить на газовой горелке. На рис. 4.9 приведена готовая конструкция, которую несложно сделать за полчаса с перекурами.



Рис. 4.9. Самодельный газовый паяльник

Паяльник получается довольно мощный. Если использовать жало толщиной 8,5 мм, то таким паяльником легко запаять прохудившийся радиатор автомобиля или произвести починку электропроводки в машине. Рекомендую автолюбителям сделать и возить в машине вместе с остальным инструментом.

## 4.4. Подготовка нового паяльника к работе

### Первые шаги

Новый паяльник должен быть соответствующим образом подготовлен к работе. **Во-первых**, рабочей части жала паяльника должна быть придана заостренная форма (30°), что часто делают с помощью напильника.



#### Совет.

*Обработку жала лучше делать ковкой, так как наклеп уменьшает интенсивность растворения меди и затрудняет образование раковин, сокращающих срок службы паяльника.*

**Во-вторых**, производят залуживание. Для этого, слегка нагрев паяльник, покрывают слоем канифоли рабочую часть жала для предохранения медной поверхности от окисления.



#### Будьте осторожны.

*Перегрев паяльника перед покрытием его канифолью недопустим.*

Если же паяльник по какой-нибудь причине все же оказался перегретым, и зачищенная часть жала покрылась темно-синим налетом окиси меди, то его следует остудить и **вновь зачистить**. Как только жало нагреется до температуры плавления припоя, рабочая поверхность его должна быть целиком покрыта припоем.

**Совет.**

*Чтобы защитить стержень от обгорания, его нужно обмазать тонким слоем смеси силикатного клея и сухой минеральной краски (окись железа, цинка и магния). Перед включением паяльника покрытие нужно хорошо просушить, иначе клей вспенится, и покрытие будет осыпаться.*

**Это интересно знать.**

*Есть паяльники с жалом из металлокерамики, их не зачищают напильником, их протирают специальной мокрой губкой.*

По мере выгорания медного стержня, такую процедуру придется выполнять регулярно.

Описанную выше процедуру с новым паяльником (зачистить и залудить его кончик, чтобы блестел), если он уже не залужен на заводе.

Зачищать нужно слегка, потыкать в поочередно в канифоль и припой, затем поводить по старой плате по блестящим местам, где много припоя, чтоб кончик равномерно блестел.

**Это интересно знать.**

*Все жало никогда не зачищают, иначе оно быстро кончится. Только кончик зачищают.*

**Чем его зачищать?** Кончик зачищают напильником или шкуркой, чтоб блестела красная медь и сразу же суют в канифоль, чтобы она не окислилась. Это про медные жала. Есть специальные жала из керамики — с ними нужно обращаться осторожно и такими способами зачищать нельзя, читайте инструкцию.

**Совет.**

*Также нужно выяснить, перегревается у тебя новый паяльник или нет. При нормальной температуре кончика канифоль не должна бурно кипеть, и капля припоя не должна легко слетать сама, а только при постукивании жалом об подставку.*

### Чистота жала паяльника и степень ее нагрева

Требования чистоты актуальны и для старых паяльников. Если жало грязное, им тяжело работать, — припой будет плавиться, но к поверхности жала не пристанет. Жало, как и у нового паяльника, обязательно надо зачистить и залудить — покрыть тонким пластом припоя.

Делается это аналогично методике, описанной выше: разогрейте паяльник и зачистите его жало напильником или наждачной бумагой, погрузите жало в канифоль, а потом троньте им кусочек припоя. Затем в пласте расплавленного припоя поводите жало по деревянной палочке (или по подставке) так, чтобы вся его поверхность покрылась пластом припоя.

С течением времени жало будет покрываться окислительным налетом темного цвета, который может помешать пайке. Тогда его нужно снова залудить.

### Для чего нужен активатор жала

Активатор жала или **TipCleaner** продается в очень маленьких баночках. Он необходим для увеличения срока службы жала паяльника. Перед каждой пайкой и после нее (имеется в виду в начале и в конце работы) опустите жало в эту баночку. На нем образуется защитное покрытие, препятствующее образованию нагара.

### Как избежать запаха гари от нового паяльника

После первого включения, нередко, бывает выгорание смазки, небольшое выделение гари, не бойтесь, это не страшно. Если же в новом паяльнике оказалось много смазки, то он начинает жутко вонять.



#### Совет.

*Чтобы избежать жуткого запаха дома, можно вывесить за форточку включенный паяльник на часик, пока масло не выгорит. Но он не должен касаться стекла. Погода должна быть сухой.*

## 4.5. Ремонт стержневого паяльника

### Характерные неисправности

Наиболее часто встречающиеся неисправности в паяльнике — **перегорание обмотки и пробой на корпус**. Перегорание обмотки вообще лишает возможности пользоваться паяльником.



#### **Будьте осторожны.**

*Пробой создает опасность поражения током, особенно при работе с заземленной аппаратурой или в сыром помещении. Пробитый на корпус паяльник опасен и в другом смысле — пользуясь им, можно повредить радиоаппарат, в котором производится пайка.*

Для устранения обычно приходится разбирать паяльник и перематывать его обмотку. В некоторых крайних случаях неисправный нагревательный элемент паяльника можно временно заменить **остеклованным проволочным резистором**, величину сопротивления которого следует подбирать в зависимости от напряжения сети и мощности паяльника (в пределах 300—800 Ом).

Остеклованный резистор надевается на медный стержень исправляемого паяльника, после чего паяльник можно сразу включать в сеть. Конечно, пользоваться постоянно таким паяльником не следует — при первой возможности его нужно заменить.

Вообще же при перемотке паяльника возникает ряд **трудностей**. Тонкие пластинки слюды при попытке обернуть ими медный стержень паяльника обычно ломаются и крошатся.



#### **Совет.**

*Чтобы избежать крошения пластины, слюду рекомендуется два-три раза нагреть в пламени докрасна, а затем охладить на воздухе. Слюда после этого станет мягкой и будет легче гнуться, плотнее прилегая к стержню паяльника.*

Если пластинка слюды **раскрошилась**, а достаточно большой целой пластинки в запасе нет, то для изоляции можно использовать мелкие кусочки от старых электронагревательных приборов. Эти кусочки укладывают слоем соответствующей толщины на лист тонкой бумаги или кальки и при необходимости слюду к бумаге можно слегка прикле-

ить силикатным клеем. Затем слюду вместе с бумагой укладывают на стержень и бумажную ленту закрепляют на стержне клеем. Далее производят намотку и сборку паяльника обычным способом. При включении паяльника в сеть бумага сгорит, и намотка несколько ослабнет. Поэтому при перематке следует применять как можно более тонкую бумагу и достаточно туго натягивать провод.

### Изоляция нагревательной обмотки от медного стержня

Нагревательную обмотку паяльника можно изолировать от медного стержня жидким стеклом (силикатный или конторский клей). Медный стержень следует для этого покрыть жидким стеклом и хорошо высушить при температуре 50—60 °С. Но еще лучшие результаты получаются, если стержень покрыт «тестом», составленным из жидкого стекла, талька, мела (зубного порошка) или асбестовой крошки. Тесто должно быть густоты сметаны; им обмазывают стержень паяльника и высушивают. Намотку провода производят поверх этого слоя.

Силикатный клей можно наносить на стержень паяльника и другим способом. Слой силикатного клея прокаливают на некопящем пламени до получения огнеупорной пены, излишки которой снимают. Для повышения надежности изоляции слоя эту операцию следует повторить несколько раз. Затем обычным способом производят намотку, поверх которой снова наносят слой клея и опять прокаливают его таким же образом на некопящем пламени (прокаливать клей, включив обмотку в электросеть, нельзя, так как клей в сыром состоянии обладает проводимостью). После прокаливания нагревательный элемент обматывают асбестовым шнуром и закрывают кожух.

Для изоляции обмотки в ряде случаев можно применять **огнеупорную глину**, смешанную с измельченным асбестом. Эту смесь надо наносить на поверхность медного стержня паяльника тонким ровным слоем и затем хорошо просушивать. Поверх слоя глины наматывают проволоку, которую сверху также прикрывают тонким слоем глины. Обмотка паяльника под слоем глины меньше окисляется, поэтому служит гораздо дольше, чем открытая. Как только просохнет верхний слой глины, паяльник можно собрать, включить в сеть и сразу же приступить к пайке.

Вместо слюды и асбеста, которым намотка обычно покрывается сверху, можно, в крайнем случае, также применить **обычную глину**. Стержень паяльника обмазывают слоем глины толщиной 1—2 мм,

после чего глину сушат. Затем на глине наматывают первый слой намотки и сверху покрывают ее глиной, снова сушат и продолжают намотку. Поверх последнего слоя намотки еще раз наносят слой глины, заполняя ею остающееся свободное пространство между нагревательным элементом и кожухом паяльника.

Обмотку паяльника чаще всего наматывают виток к витку или с некоторым принудительным шагом.

### Особенности ремонта низковольтных паяльников

Для низковольтных паяльников (на 6—12 В), подключаемых к сети через понижающий трансформатор, вместо тонкой проволоки из специальных сплавов (нихром, никелин и т. п.) допустимо использовать стальную проволоку.



#### Совет.

*Для этой цели можно, например, применить жилу от стального (буксирного) троса, подвергнув ее предварительному отжигу.*

После отжига проволока становится мягкой и легко наматывается на паяльник. Длину обмотки подбирают по свечению проволоки, которое должно быть темно-вишневого цвета.

Вся обмотка низковольтного паяльника обычно укладывается в один слой. Такой паяльник прост в изготовлении и долговечен. Преимуществом его является также большая безопасность при использовании, так как благодаря трансформатору даже при пробое изоляции в паяльнике напряжение сети не попадает на корпус паяльника.

## 4.6. Выбираем и правильно используем припой

### Что такое припой



#### Это полезно запомнить.

*Припой — это легкоплавкий сплав металлов, предназначенный для соединения проводов, выводов, деталей и узлов пайкой.*

Ранее припой обозначали тремя буквами — ПОС (припой оловянно-свинцовый), за которыми идет двузначное число, показы-

вающее содержимое олова в процентах, например ПОС-40, ПОС-60. Для радиолюбительских целей рекомендовался припой ПОС-60.



#### Это интересно знать.

*Лучший припой — чистое олово. Однако оно дорогое и используется в исключительных случаях. Во время радиомонтажа чаще применяют оловянно-свинцовые припои. По прочности спаивания они не уступают чистому олову. Плавятся такие припои при температуре 180—200 °С.*

### Выбор припоя

Выбор припоя производят в зависимости от таких факторов:

- ♦ от соединяемых металлов или сплавов;
- ♦ от способа пайки;
- ♦ от температурных ограничений;
- ♦ от размера деталей;
- ♦ от требуемой механической прочности;
- ♦ от коррозионной стойкости и др.



#### Есть такое правило.

*Для пайки толстых проводов используют припой с температурой плавления более высокой, чем для пайки тонких проводов.*



#### Это интересно знать.

*В некоторых случаях необходимо учитывать и электропроводность припоя (напоминание: удельное сопротивление олова равно 0,115 Ом × мм<sup>2</sup>/м, а свинца — 0,21 Ом × мм<sup>2</sup>/м).*

### Разновидности припоев

Припои разделяются на три группы: тугоплавкие, легкоплавкие и сверхлегкоплавкие.

**Тугоплавкие припои (радиолюбители их практически не используют).** К тугоплавким относятся припои с температурой плавления свыше 500 °С, создающие очень высокую механическую прочность соединения (сопротивление разрыву до 50 кг/мм<sup>2</sup>). Недостатком их является именно то, что они требуют высокой температуры нагрева и, хотя прочность такой пайки получается весьма высокой, интенсив-

ный нагрев может привести к нежелательным последствиям: можно, например, «отпустить» стальную деталь.

**Недостатком** твердых припоев является то, что они требуют высокой температуры нагрева, и хотя прочность такой пайки весьма высока, интенсивный нагрев может привести к весьма нежелательным последствиям:

- ♦ можно перегреть дорогостоящую деталь и вывести ее из строя (например, транзистор или микросхему);
- ♦ можно «отпустить», например, стальную деталь (пружину).

**Легкоплавкие (радиолюбительские) припой.** К этой категории относятся припои с температурой плавления до 400 °С, имеющие сравнительно невысокую механическую прочность (сопротивление разрыву до 7 кг/мм<sup>2</sup>). При радиотехнических монтажных работах применяются главным образом легкоплавкие припои. В их состав входят олово и свинец в различных пропорциях, например, припой ПОС-61, который содержит 61% свинца, 38 % олова и 1% различных присадок.

**Сверхлегкоплавкие (радиолюбительские) припои.** Существуют также сплавы, в состав которых, кроме олова и свинца, входят висмут и кадмий. Эти сплавы наиболее легкоплавкие: у некоторых из них температура плавления менее 100 °С. Механическая прочность соединения у таких сплавов весьма невелика. Раньше их применяли для пайки кристаллов в кристаллических детекторах. В настоящее время легкоплавкие кадмий-висмутовые сплавы находят применение при ремонте печатного монтажа. Используются они также для пайки транзисторов, так как по техническим условиям их рекомендуется паять припоем с температурой плавления, не превышающей 150 °С.

Для пайки транзисторов можно применять так называемый сплав Вуда с температурой плавления 75 °С, в состав которого входят: олово — 13%, свинец — 27%, висмут — 50%, кадмий — 10%. Сплав Вуда можно приготовить по указанному рецепту самому или купить в аптеке. Пайка ведется слабо нагретым паяльником. В качестве флюса используется канифоль.

### **Свойства некоторых свинцово-оловянистых (мягких) припоев**

Основные данные наиболее распространенных припоев приведены в табл. 4.1.

Основные данные наиболее распространенных припоев

Таблица 4.1

Марка	Примерный состав, %	$T_{\text{плавл}}, ^\circ\text{C}$	Прочн., кг/мм	Применение
ПОС-18	Олово (18%), сурьма (2,5%), свинец (79,5%)	277	2,8	Для пайки при пониженных требованиях к прочности шва, а также для лужения перед пайкой
ПОС-30	Олово (30%), свинец (60%)	256	3,3	Для лужения и пайки деталей из меди и ее сплавов и стали
ПОС-40	Олово (40%), сурьма (2%), свинец (58%)	235	3,2	Для пайки в электроаппаратуре и деталей из оцинкованной стали
ПОС-4-6	Олово — 4%, сурьма — 6%, свинец — остальное	265	5,8	Для пайки с погружением в ванну срасплавленным припоем
ПОС-50	Олово (50%), сурьма (0,8%), свинец (49,2%)	222	3,6	Для пайки ответственных деталей, когда допустим более высокий нагрев
ПОС-60	Олово (60%), сурьма (0,8%), свинец (39,2%)	190	4,1	Для пайки высоко ответственных соединений, в том числе и в радиотехнике
ПОС-61	Олово (40%), свинец (60%)	190	4,3	Для лужения и пайки в аппаратуре, где недопустим перегрев
ПОС-61М	Олово (60%), медь (1—2%), свинец (38—39%)	192	4,5	Для лужения и пайки электропаяльником тонких медных проводов, печатных проводников и фольги
ПОС-90	Олово (90%), свинец (10%)	222	4,9	Для пайки пищевой посуды и медицинских инструментов, деталей или узлов с последующим серебрением или золочением
ПОСК50-18	Олово (50%), кадмий (18%), свинец (31%)	145	6,7	Для пайки чувствительных к перегреву деталей
ПОСр-15	Олово (15%), цинк (0,6%), свинец (83%), серебро (1,25%)	276	8,1	Для пайки деталей из цинка и оцинкованной стали

### Форма радиолюбительских припоев

В прошлом веке порекомендовали оловянный прут сечением 10 мм. Сейчас для пайки пользуются припойной проволокой сечением от 1 до 5 мм. Наиболее распространены 1,5—2 мм **многоканальные припои**.

**Многоканальность** означает, что внутри оловянной проволоки расположены несколько каналов флюса, который обеспечивает образование ровной блестящей и надежной пайки. Продается такой припой в мотках — на радиорынках, в колбах — в которых он находится свернутым в спираль, и в бобинах (в них количество припоя такое, что его хватит не на один год).



#### Совет.

*Рекомендуется приобретать припой в виде проволоочки, толщиной со спичку — удобнее паять.*

При пайке монтажных проводов радиоаппаратуры удобно пользоваться оловянно-свинцовыми припоями, отлитыми в виде тонких прутков диаметром 2—2,5 мм.

Такие прутки можно изготовить самому, выливая расплавленный припой в сосуд, в дне которого заранее проделано отверстие. Сосуд при этом следует держать над листом жести или металлической плитой. После остывания прутки следует разрезать на куски необходимой длины.

**Современные припои**, используемые при пайке электронных схем, выпускаются в виде тонких трубочек, заполненных специальной смолой (колофонием), выполняющей функции флюса.

Нагретый припой создает внутреннее соединение с такими металлами, как медь, латунь, серебро и т. д., если выполнены следующие условия:

- ♦ поверхности подлежащих пайке деталей должны быть зачищены, то есть с них необходимо удалить образовавшиеся с течением времени пленки окислов;
- ♦ деталь в месте пайки необходимо нагреть до температуры, превышающей температуру плавления припоя.

Определенные трудности при этом возникают в случае больших поверхностей с хорошей теплопроводностью, поскольку мощности паяльника может не хватить для ее нагрева.

### Самостоятельное приготовление припоя

Для самостоятельного приготовления припоя компоненты состава (олово и свинец) отвешивают на весах, расплавляют смесь в металлическом тигле над газовой горелкой и, перемешав расплав стержнем из стали, стальной пластинкой снимают пленку шлака с поверхности расплава. Затем осторожно разливают расплав в формы — желоба из жести, дюралюминия или гипса.



#### **Будьте осторожны.**

*Плавку необходимо выполнять в хорошо проветриваемом помещении, надев защитные очки, перчатки и фартук из грубой ткани.*

## 4.7. Выбираем и правильно используем флюс

### Для чего нужен флюс

Во время пайки температура соединяемых деталей значительно повышается. При этом скорость окисления металлических поверхностей возрастает. В итоге припой хуже смачивает соединяемые детали. Поэтому необходимо использовать вспомогательные вещества, флюсы.



#### Это полезно запомнить.

**Флюс** — это вспомогательный материал, который призван во время пайки удалять оксидную пленку с деталей, подвергаемых пайке, и обеспечивать хорошее смачивание поверхности детали жидким припоем. Без флюса припой может не прикрепиться к поверхности металла.

#### Назначение флюсов:

- ♦ надежно защищают поверхность металла и припоя от окисления;
- ♦ улучшают условия смачивания металлической поверхности расплавленным припоем.

Действие флюса зависит от его состава, имеемые флюсы:

- ♦ или растворяют окисные пленки на поверхности металла (а иногда и сам металл);
- ♦ или предохраняют металл от окисления при нагреве.

Таким образом, флюс (колофоний) образует защитную пленку над местом пайки. Флюс содержится в **современном припое** в виде тонкого сердечника. При расплавлении припоя он распределяется по поверхности жидкого металла.

Флюсом покрывают поверхности уже залуженных металлов также и перед их соединением (собственно пайкой). При этом флюс является **ПАВ**, то есть **Поверхностно Активным Веществом**. Флюс защищает поверхность нагретых предметов от окисления или помогает разрушить окисную пленку, тем самым помогая им соединиться припоем.



#### Это интересно знать.

После соприкосновения деталей избыток флюса между ними вылезает наружу и все время испаряется потому, что температура его испарения ниже, чем у припоя.

Флюсы бывают разные. Например, для ремонта металлической посуды пользуются «паяльной кислотой» — раствором цинка в соляной кислоте.



**Это интересно знать.**

*Паять радиоконструкции с таким флюсом нельзя — со временем он разрушает пайку. Для радиомонтажа надо применять флюсы, в которых нет кислоты, например, канифоль.*

### Требования к радиолюбительским флюсам

**Выбор флюса** — важный вопрос. Раньше использовалась только канифоль, другого флюса не было. Чем плоха канифоль — канифоль, спиртовой канифольный флюс относятся к категории активных флюсов.

**Первый недостаток** — при высоких температурах удаляется не только оксид металла, но и сам металл.

**Второй недостаток** — очистка платы после пайки с канифолью является большой проблемой. Смыть остатки можно только спиртом или растворителями (да и то, порой проще отковырять чем-то острым).



**Будьте осторожны.**

*Остатки флюса на плате не только некрасиво с эстетической точки зрения, но и вредно. На платах с малыми зазорами между проводников возможен рост дендритов (проще говоря, замыканий) вызванных гальваническими процессами на загрязненной поверхности.*

Каков же **выход** — на современном рынке материалов можно найти широкую гамму флюсов, которые смываются обычной водой, не разрушают жало паяльника и обеспечивают высокое качество пайки. Продаются такие флюсы, как правило, в шприцах, что очень удобно для использования.

### Разновидности флюсов

Радиолюбители, как правило, применяют флюсы, предохраняющие металл от окисления (образования окисной пленки). К ним относится, в частности, канифоль, получившая преимущественное распространение при монтажных работах.

**Совет.**

*Независимо от того, какой флюс используется, готовую пайку нужно обязательно протирать тряпочкой, смоченной в спирте-ректификате или ацетоне, а также прочищать жесткой щеточкой или кисточкой, смоченной растворителем, для удаления остатков флюса и грязи.*

В некоторых исключительных случаях вместо канифоли можно пользоваться ее заменителями:

- ♦ **канифольным лаком**, имеющимся в продаже в хозяйственных магазинах. Его можно применять как жидкий флюс взамен раствора канифоли в спирте. Этот же лак можно использовать и для антикоррозийного покрытия металлов.
- ♦ **живицей** — смолой сосны или ели — доступным материалом, особенно любителям, живущим в сельской местности. Такой флюс можно приготовить самому. Набранную в лесу с деревьев смолу нужно растопить в жестяной банке на слабом огне (на сильном огне смола может воспламениться). Расплавленную массу разлить в спичечные коробки.
- ♦ **таблеткой аспирина**, имеющейся в любой домашней аптечке. Недостаток этого флюса — неприятный запах дыма, выделяющийся при плавлении аспирина.

### Изготавливаем флюсы своими руками

Рецепт №1. Жидкий канифольный флюс. Он обеспечивает прочную пайку с ровной поверхностью застывшего припоя. Его можно изготовить так: 20 г измельченной в порошок чистой канифоли, растворенной в 35—40 г чистого спирта, бензина или скипидара.

**Это интересно знать.**

*Практически установлено, что при указанной пропорции составных частей флюс при пайке не дает вспышки паров растворителя. Этот флюс нужно хранить в пузырьке с притертой пробкой.*

Для жидкого флюса не рекомендуется применять канифоль, предназначенную для натирания скрипичного смычка, так как пайка может быть загрязнена посторонними примесями.

**Совет.**

*Для жидкого флюса не рекомендуется применять канифоль, предназначенную для натирания скрипичного смычка, так как пайка может быть загрязнена посторонними примесями.*

Хранить жидкий флюс также удобно в полиэтиленовой масленке, хоботок которой закрывается специальной пленкой. С помощью такой масленки можно легко и быстро нанести требуемое количество флюса на место пайки. При этом флюс расходуется значительно экономичнее, уменьшается испарение его растворителя, пайка получается более чистой и аккуратной.

**Рецепт №2.** Еще один состав жидкого флюса: канифоль — 6%, глицерин — 14%, спирт (этиловый или денатурированный) — остальное.

**Рецепт №3.** Глицериновая паста. Она позволяет ускорить процесс пайки и повысить качество соединений. С помощью пасты можно паять детали из самых разнообразных металлов и сплавов даже без предварительной зачистки или лужения, что особенно удобно при пайке в труднодоступных местах. Глицериновую пасту легко изготовить самому.

Состав ее следующий: 48% веретенного масла, 12% пчелиного воска, 15% светлой канифоли, 15% глицерина, 10% насыщенного водного раствора хлористого цинка. Изготавливая глицериновую пасту, ее нужно все время подогревать. Сначала расплавляют канифоль, затем добавляют веретенное масло, воск, глицерин и, в последнюю очередь, хлористый цинк.

Пасту можно изготовить и по более простому рецепту. Кусочки канифоли размельчают в порошок и, подливая глицерин, растирают до густоты сметаны. Паста удобна тем, что она хорошо сохраняется длительное время. Хранить ее можно в любой посуде с крышкой. На место пайки пасту наносят с помощью кусочка проволоки.

**Рецепт №4.** Флюсы для пайки без предварительного залуживания. Этот флюс можно использовать для пайки большинства встречающихся в практике радиолюбителя металлов и сплавов (меди, латуни, бронзы, различных сталей, в том числе и нержавеющей, цинка, белой жести, нихрома, константана, манганина, никеля).

Весьма прочное соединение получается при пайке никеля и проводов из сплавов высокого сопротивления, которые при использовании обычных флюсов паять нельзя.

Флюсы составляется из 73 мл спирта (ректификат или сырец), 20 г канифоли, 5 г солянокислого анилина, 2 г триэтиламина. Триэтиламин можно заменить двадцатью каплями раствора аммиака (нашатырного спирта). Канифоль растворяют в 50 мл спирта, а в остатке

спирта (23 мл) растворяют солянокислый анилин. Оба раствора смешивают и добавляют триэтанолламин.

**Рецепт №5. Флюс в виде пасты**, представляющей собой сплав канифоли с одноосновными жирными кислотами, может быть составлен по следующему рецепту: стеариновая кислота — 30 г, пальмитиновая кислота — 25 г, олеиновая кислота — 45 г, канифоль — 100 г.

Сплавление указанных четырех компонентов следует производить в стеклянной колбе (водяной бане) при температуре 100 °С, причем содержимое колбы необходимо хорошо перемешивать.



**Это интересно знать.**

*Этот процесс можно производить также в любой чистой посуде и на открытом огне, но в этом случае необходимо строго придерживаться указанного температурного режима.*

После охлаждения флюс превращается в густую мазь. Густота флюса зависит от количества канифоли. На места пайки флюс наносится палочкой в очень малом количестве.

Высокая активность флюса, составленного по этому рецепту, дает возможность производить пайку без предварительного залуживания. С помощью флюса можно паять:

- ♦ лицендрат;
- ♦ выводы остеклованных проволочных резисторов;
- ♦ провода в эмалевой изоляции даже без особо тщательной зачистки.

Если нет олеиновой жирной кислоты, то флюс можно изготовить из 60% хозяйственного мыла. В горячий мыльный клей тонкой струйкой добавляется любая сильная кислота, например, соляная, серная, азотная. Наливать нужно с некоторым избытком, чтобы прореагировало все мыло.

Полученный жир надо переложить в чистую посуду и нагревать в горячей воде в течение 20 мин, а затем его следует охладить до комнатной температуры (посуду при этом нельзя трогать с места до полного остывания массы, так как вода вновь может проникнуть в жирные кислоты) и слить накопившуюся снизу воду. Полученную массу следует в дальнейшем только сплавить с канифолью.

В некоторых исключительных случаях вместо канифоли можно использовать ее **заменители**. Так, **канифольный лак**, имеющийся в продаже в хозяйственных магазинах, можно применять как жидкий флюс взамен раствора канифоли в спирте.

В качестве флюса при пайке проводников можно в случае крайней необходимости пользоваться также живицей — смолой сосны или ели, — доступным материалом, особенно радиолюбителям, живущим в сельской местности. Такой флюс можно приготовить самому. Набранную в лесу смолу нужно растопить в жестяной банке на слабом огне (на сильном огне она может воспламениться). Расплавленную массу разлить в спичечные коробки. Застывшая смола используется в качестве флюса так же, как канифоль.

### Флюсы, не требующие предварительного залуживания

Нагретые металлы активно вступают в реакцию окисления с кислородом воздуха, поэтому нагретый металл надо чем-то защитить. Кроме того, существуют флюсы, которые не требуют предварительного облуживания деталей, но в электронике их применяют редко:

- ♦ в случаях, когда не требуется электрического контакта после пайки;
- ♦ в случаях, когда даже мельчайшие остатки такого флюса способны вызвать окисление деталей и нарушение электрического контакта (разрыв электрической цепи).

### Применение флюсов

Для разных металлов, разных припоев и разных технологий. Радиолюбители пользуются **маркой ЛТИ-120** или **спиртовым раствором канифоли** или, на худой конец, обычной канифолью. Сделать флюс самому очень просто. Заполняем пузырек наполовину спиртом, насыпаем толченой канифоли, взбалтываем до полного растворения.

Также, рекомендую купить какой-либо **активный флюс**, который нужен, например, для пайки хромированных выводов некоторых выключателей и разъемов. На крайний случай, упрямый контакт можно припаять при помощи **таблетки обычного аспирина**. Воняет противно, — но паяет надежно.

Естественно флюс и канифоль не будет оставаться в промежутке между проводом и платой, а вылезет по краям и ее можно будет легко удалить иглой. Даже если вы используете жидкий флюс (например, раствор канифоли в спирте), то после остывания пайки вокруг нее остается пятно твердых остатков флюса, которое нужно удалить растворителем или если плата очень нежная, то только механически, иглой.

**Совет.**

*Положите на стол небольшой кусок тонкой фанеры, оргалита или плекса, чтобы его не испортить.*

Иногда пользуются **паяльной кислотой**. Ее применение целесообразно только тогда, когда надо паять детали из железа.

**Совет.**

*После пайки с кислотой детали обязательно надо промывать большим количеством воды и тщательно сушить. Иначе остатки этой кислоты могут вызвать коррозию и разрушение паяных деталей и нарушение электрического контакта.*

Если под руками нет паяльной кислоты, а надо срочно облудить и припаять железную или сильно окислившуюся медную, или латунную деталь, то вас спасет **таблетка аспирина** — это ацетилсалициловая кислота, которая во многих случаях с успехом может заменить хлористый цинк.

Сейчас выпускается большое количество разнообразных, так называемых «**безотмывочных**», флюсов, как жидких, так и в виде полужидкого геля. Особенность их такова, что они не содержат компонентов, вызывающих окисление и коррозию соединяемых деталей, не проводят электрический ток и не требуют промывки платы после пайки.

Хотя все равно лучше после завершения пайки удалять с припаянных деталей все остатки флюса. Для нанесения жидкого флюса можно воспользоваться кисточкой, ватной палочкой или просто спичкой, но удобнее пользоваться так называемым «**флюсапликатором**».

Можно попробовать купить фирменный **флюсапликатор** стоимостью примерно 20—30\$, но куда проще и дешевле сделать его самому. Для этого потребуется кусочек силиконового или резинового шланга с внутренним диаметром 5—6 мм и одноразовый медицинский шприц.

Шприц разрезается на 2 части. Обе части вставляются в резиновую трубку. Иголка слегка укорачивается, ее можно для удобства пользования слегка изогнуть. Слегка нажимая на шланг, выдавливаем из кончика капельку флюса на припаиваемые детали и производим пайку. При хранении, чтобы не засыхала игла внутри нее можно вставлять тонкую проволоку.

Так же удобно пользоваться флюсом в виде **геля** или **пасты**. Для его нанесения тоже можно воспользоваться одноразовым шприцем, только из-за его густоты иглу шприцевую придется взять потолще.

## 4.8. Меры безопасности для радиолюбителя

### Об основных правилах электробезопасности

Включая в сетевую розетку, например, паяльник, держите штепсельную вилку так, чтобы пальцы не касались ее металлических штырьков. Сетевое напряжение будет и на выводах обмоток трансформаторов, установленных в конструкциях с питанием от сети. При включении их в сеть дотрагиваться до этих выводов и деталей нельзя.

Перед первым включением самоделки в сеть проверьте омметром качество изоляции между штырьками сетевой вилки и корпусом конструкции. Если оно менее 10 МОм при какой-нибудь (проверьте обе!) полярности подключения щупов омметра, отыщите неисправность и устраните ее. Такую проверку делайте периодически.

Проверяя в сетевых конструкциях режим работы деталей, подключайте один из щупов измерительного прибора к общему проводу заранее, до включения конструкции в сеть. При необходимости заменить деталь или перепаять проводники обесточивайте конструкцию и вынимайте вилку из розетки. Если же нужно подобрать режим, например, подстроечным резистором, пользуйтесь отверткой с хорошо изолированной ручкой.



#### Совет.

*Никогда не работайте усталым — электрическое сопротивление организма при таком состоянии понижено, внимание ослаблено, реакция замедлена.*

### Инструменты, как источник опасности

А теперь об инструментах. Они тоже могут стать источником всевозможных травм. Чтобы избежать их, нужно помнить о правилах безопасности и соблюдать их. К примеру, режущий инструмент должен быть постоянно остро заточен, поскольку при работе тупым инструментом придется прикладывать к нему большее усилие, и он скорее соскользнет, сорвется и поранит. Это не означает, что острый инструмент безопасен: работая им, также нужно соблюдать осторожность.

Пользуясь отверткой, помните, что ее лезвие должно соответствовать по размерам головке винта. Конец лезвия должен быть тупым. Прежде чем завинчивать отверткой шуруп, нужно шилом или дре-

лью сделать гнездо для его посадки. Передавая отвертку (или шило, стамеску, долото) друг другу, держите ее лезвием к себе. Не кладите ножницы, отвертки и другие подобные инструменты лезвием к себе или так, чтобы они свешивались за край крышки стола.

**Будьте осторожны.**

*Не строгайте материал в руках, и тем более ножом, по направлению к себе.*

При опиливании металла следите за тем, чтобы пальцы левой руки не заходили за край напильника вниз. Не проверяйте пальцем качество опиливаемой поверхности. Металлическую стружку после опиливания собирайте со стола не голыми руками, а волосяной щеткой-сметкой.

Разрезаемый металл надежно закрепляйте в тисках. Полотно ножовки должно быть натянуто не слабо и не слишком туго. Слабо натянутое полотно может сломаться, а туго натянутое — лопнуть. В обоих случаях вы можете пораниться обломками полотна.

Разрезая ручными ножницами тонкий листовый материал, держите его левой рукой в брезентовой рукавице. Это предохранит руку от ранений острыми кромками металла и лезвиями ножниц. Не пользуйтесь тупыми ножницами и ножницами с разболтанным шарниром.

Выполняя работу, не разговаривайте и не отвлекайтесь посторонними делами.

Если вы все же нарушили правила и случайно поранились, смажьте йодом кожу вокруг раны, наложите на рану чистые марлю, полотняную тряпочку, носовой платок и забинтуйте это место.

### А вредна ли пайка?

**Будьте осторожны.**

*Паяльник — инструмент повышенной опасности, поэтому обращаться с ним необходимо очень осторожно.*

Помните, что во время пайки могут выделяться **вредные для здоровья пары олова и свинца**. Ни в коем случае нельзя наклоняться над местом пайки и вдыхать испарения. Летом старайтесь паять возле открытого окна, зимой чаще проветривайте помещение во время работы. Закончив пайку, обязательно вымойте руки теплой водой с мылом.

**В бессвинцовом припое** используются металлы, которые более ядовиты, чем свинец. Если паяльник не перегретый, и не стоваттный «для пайки ведер» — то все будет нормально.

Полезно микровытяжку на столе приспособить, из компьютерного вентилятора, чтоб дым от носа оттягивало. Сделаем вывод, паять домашних условиях можно при соблюдении таких соображений:

- ♦ при пайке не забывайте работать в хорошо проветриваемом помещении;
- ♦ если есть вентилятор, используйте;
- ♦ если есть профессиональная или самодельная система вентиляции — замечательно;
- ♦ парами канифоли желательно не дышать;
- ♦ не паяйте на кухне, ведь пары припоя и канифоли запросто оседают на столовых приборах и пище;
- ♦ лучше всего пользоваться рабочим халатом с длинными рукавами, который не забываем стирать хоть иногда;
- ♦ после пайки тщательно вытирайте за собой стол и т. д. — то есть предметы быта;
- ♦ после пайки тщательно (!) с мылом (!) мойте руки и лицо!

Не пренебрегайте простейшими правилами безопасности в угоду лени! От вас не убудет, зато претензий от родных поубавится.

Конечно лучше, если есть возможность, удалить дым от носа. Хорошая канифоль сосновая и пахнет приятно, а вот с добавками и всякие флюсы это еще вопрос.

Кислотой нежелательно паять, если вы потом это собираетесь включать. Во всех остальных случаях нормальный хлористый цинк, аммоний или активный флюс Ф-38Н работают заметно лучше канифоли. Попробуйте паять нихром или инвар канифолью, посмотрим, как у вас это выйдет.

Некоторые вещи тяжело паять канифолью, особенно мелочь, да от нее грязи много бывает. Тогда на помощь приходит ЛТИ-120, очень хорошая штука, советую.



#### **Совет.**

*Для тех, кто занимается пайкой, для вывода из организма тяжелых металлов, ежедневно нужно выпивать стакан сливового сока, а примерно через час пару стаканов кисломолочного продукта, например, кефир.*

Молоко необходимо пить тем, кто связан с химией. Это правила по технике безопасности, разработанные еще в период СССР.

### Как защититься от брызг

Флюса наносите минимальное количество. При избытке — может брызнуть, при касании паяльником. Припой паяльником берем столько, сколько нужно на 1-2 пайки, излишек может капнуть и обжечь.

Брызнуть в глаз расплавленным припоем не просто, а **ОЧЕНЬ ПРОСТО**. Для этого берем в руку проводок или деталь с тонкими пружинящими выводами. Надавливаем паяльником **от себя** на кончик провода с каплей припоя, и вдруг... Неизменно превосходный результат — припой летит прямо в глаз.

**Поэтому надевайте специальные очки.** Кстати на рынке очень часто продают дешевую подделку под защитные очки. Внешне их не отличишь!!! Только по цене. Но они сильно давят на кожу острым краем, то есть пластик там чуть жестче. В общем, не обтекает кожу. В таких очках долго не посидишь.

Покупайте дорогие очки.

### Несколько советов в завершении



#### **Это интересно знать.**

*Считается в шутку, кто не схватился хоть раз за нагретый паяльник, иногда всей ладонью, тот не радиолюбитель! Каждый хоть раз, да хватался. Поэтому нужно класть аккуратно паяльник на подставку жалом от себя.*



#### **Будьте осторожны.**

*Не паяйте включенную схему! Это интуитивно ясно.*

Но также опасно паять схему, выключенную, но соединенную с заземлением, в то время, как изоляция паяльника слабая или корпус паяльника не заземлен.

В Интернете (например, на <http://radiocon-net.narod.ru/page3.htm>) описаны случаи, когда некто забывал или игнорировал это правило, и при касании паяльником схемы возникала **мощная дуга** на несколько киловатт.

В общем, при пайке электронных устройств провода питания от них должны быть отсоединены, или выключатель должен быть двух-полюсной (разъединяющий оба провода).

То же правило относится к информационным проводам. Допустим, вы выключили питание или выдернули шнур 220 В, а устройство соединено по информационному кабелю с другими устройствами, находящимися под напряжением или заземленными. Даже небольшой потенциал может погубить электронную схему при касании паяльником.

**Совет.**

*Поэтому нужно уравнивать потенциал, соединяя провод между корпусом паяльника с общей шиной устройства перед пайкой.*

## 4.9. Научимся правильно паять

### Начинаем учиться паять

Первое, что необходимо сделать — подготовить все необходимое для пайки радиодеталей:

- ♦ паяльник;
- ♦ небольшую губку;
- ♦ припой;
- ♦ плоскогубцы или пинцет;
- ♦ бокорезы.

Включите паяльник в розетку и смочите губку водой. Когда паяльник нагреется и начнет плавить припой, покройте жало паяльника припоем, а затем протрите его о влажную губку. При этом не держите жало слишком долго в контакте с губкой, чтобы не переохладить его. Протирая жало о губку, вы удаляете с него остатки старого припоя. И в процессе работы для поддержания жала паяльника в чистоте время от времени протирайте его о губку.

### Методика обучения пайке

Если вы никогда не паяли, предлагаем воспользоваться одной из двух методик, в основе которых, как в и любой другой методике, лежит практика.

**Методика 1.** Возьмите 300 мм голого провода диаметром 23 мм (или изолированного, с которого надо снять изоляцию) и разрежьте

его на 12 одинаковых кусков длиной 25 мм, чтобы из них сделать куб, закрепив точки соединения посредством пайки. Допускается использовать только плоскогубцы с длинными губками, паяльник, припой, флюс. И никакого другого инструмента и приспособлений.

Это должно научить вас держать конструкцию неподвижной во время ее охлаждения. После того как куб будет готов, дать ему остыть, а затем положить его на ладонь и сжать руку в кулак. Если хотя бы одно из соединений нарушится, надо проделать все еще раз, взяв новые куски проводов.

**Методика 2.** Нарезать куски медной проволоки длиной 30—50 мм и толщиной 2—3 мм. Обмотать освобожденный от изоляции монтажный провод вокруг этой проволоки (2—3 витка) и соединить его путем пайки. Инструмент тот же, что и выше. Это упражнение надо повторять до тех пор, пока не будут получаться аккуратные, блестящие, прочные соединения.

### Основные правила пайки

При пайке надо соблюдать несколько правил, тогда и пайка будет получаться надежной и аккуратной:

- ♦ лучше всего пользоваться припоями ПОС-61, ПОС-50, ПОС-40 и спирто-канифольными флюсами;
- ♦ необходимо прогреть место соединения до такой температуры, чтобы приложенный к нему припой мог расплавиться. Припой должен расплавиться благодаря теплу, отдаваемому местом соединения;
- ♦ место соединения следует тщательно зачистить;
- ♦ место соединения должно быть неподвижным до тех пор, пока расплавленный припой не затвердеет;
- ♦ не перегревать места соединения;
- ♦ припоя не должно быть слишком мало;
- ♦ припоя не должно быть слишком много.



#### **Это интересно знать.**

*Частая ошибка заключается в том, что припой расплавляют паяльником в надежде на то, что он стечет с паяльника и прилипнет к месту соединения. Это грубая ошибка!*

Опыт многих практиков показывает, что качество пайки во многом определяется мастерством монтажника. У опытного монтажника:

- ♦ ниже давление паяльника на печатную плату при пайке;
- ♦ меньше перепаек элементов;
- ♦ меньше время пайки при заданной температуре паяльного нако- нечника (внутренние дефекты на печатных платах практически не появляются, если время пайки меньше 3 с).

К паяемым деталям прикладываем жало паяльника всей лопаточ- кой, для эффективной теплопередачи. Пайка должна быть быстрой и качественной.

**Будьте осторожны.**

*Не забываем про перегрев деталей. Не получилось с первого раза, даем радиодеталям остыть.*

Время прогрева подбираем экспериментальным путем — если слишком быстро, то деталь не прогреется и пайка получится плохая.

Флюс наносим непосредственно перед пайкой, когда все пригото- вления деталей закончены, чтобы он не испарялся.

Хорошую пайку видно сразу, припой ложится тонким и ровным слоем, блестит. Нет наплывов, трещин и серых мест. Дополнительную крепость соединения придает предварительная скрутка проводов.

**Совет.**

*Для получения хороших результатов рекомендую потренироваться, например, на отслужившем магнитофоне или приемнике.*

Чтобы пропаянные детали не замкнулись между собой, или еще куда-либо, надеваем кусочек изолирующей трубочки подходящего размера. Или обматываем изолентой.

**Обеспечение чистота поверхностей, которые спаиваются**

Места проводников и деталей, предназначенных для пайки, должны быть зачищены до блеска. Хорошо зачищенный проводник кладут на кусок канифоли и хорошо прогревают паяльником. Канифоль быстро распла- вится, а припой, который есть на паяльнике, растечется по проводнику.

Вращая проводник и медленно двигая по нему жало паяльника, добиваются равномерного распределения припоя по поверхности проводника. Только не переусердствуйте, многие детали нельзя сильно нагревать.

### Как зачистить проводники печатной платы

На ватный тампон наносят несколько капель технической соляной кислоты и протирают им поверхность фольги. Кислота хорошо удаляет слой окиси меди, практически не затрагивая металл. После этого плату надо промыть под проточной водой:

- ♦ сначала — в горячей;
- ♦ потом в холодной.

Отверстия под выводы деталей лучше просверлить после этой обработки. При работе с кислотой необходимо соблюдать меры безопасности (<http://chav1961.narod.ru/radio/technology/blitz/blitz.html>).

### Что нужно помнить при пайке

Пайка — это не наляпывание припоя, как смолы или цемента, на соединяемые детали. Это процесс всасывания припоя в микрозазоры за счет капиллярных явлений и адгезии (прилипания) припоя за счет поверхностных явлений (<http://mimiwaxer.narod.ru/fignya/aa0110paika.html>). Все это электростатические силы, хотя это не привычная для вас электростатика, это силы межмолекулярного взаимодействия на близких расстояниях.

И здесь нужно четко помнить, как работают **явления смачивания и капиллярности**.

**Во-первых**, если конец жала стряхнут от излишка припоя или вытерт о тряпку, то эта блестящая поверхность обладает сильным притяжением расплавленного припоя. Она может высосать его откуда. Это нужно, например, при отпайке элементов или исправлении пайки. Для удаления большего количества припоя применяется кусок экранирующей оплетки от кабеля.



#### **Это интересно знать.**

*Существует паяльник с ложбинкой на конце, которая как ложка заполняется припоем при касании старой пайки, хотя сейчас принято применять вакуумный отсос.*

**Во-вторых**, если вы возьмете на кончик жала мало припоя, то нечему будет всасываться в зазор между спаиваемыми деталями, и нечему будет окружать этот зазор по периметру.

**В-третьих**, если припоя много, то пайка будет в виде слишком большой капли и может замкнуть соседние контакты.

**В-четвертых**, если канифоли или флюса недостаточно на жале паяльника, а так же при недостаточной температуре, то пайка получается не блестящей, рыхлой и непрочной. То же получается при слишком высокой температуре, когда флюс исчезает раньше, чем сделает доброе дело.

**В-пятых**, если канифоли или флюса много в зазоре, то он там кипит и выплескивает припой в виде брызг на соседние контакты.

**В-шестых**, при нужном количестве припоя и нужной температуре паяльника (и не слишком большой массе спаиваемых деталей) припой аккуратно самостоятельно обтекает спаиваемые контакты и самостоятельно всасывается в микрозазоры между ними. То есть, форма и прочность пайки формируются сами, как нужно.



**Это интересно знать.**

*Помните, что две зачищенные хоть до зеркального блеска медные детали никогда не соединятся вместе (разве что вы их склепаете или сварите). При пайке они соединятся тонким слоем припоя, который всасывается между ними, только если они уже хорошо залужены (покрыты предварительно тонким слоем припоя).*

Итак, перед пайкой спаиваемые места нужно залудить или использовать уже залуженные детали.

Ручной пайке уже, наверное, сотни или тысячи и с тех пор почти ничего не изменилось в технологии, смола (канифоль) она была и тогда смола, а олово и свинец также не изменились.

Некоторые **зачищают провода** паяльником или специальной электрической обжигалкой или зажигалкой.

Фторопластовая изоляция не плавится паяльником, а при горении испускает белый дым с высоким содержанием фтора и фтористых соединений. Попадание этого дыма в глаза приведет к их химическому ожогу.

Когда счищаете изоляцию кусачками, то провод зажимаете пинцетом одной рукой, а другой легко сжимаете кусачками (**НЕ ДОСТАВАЯ ДО ЖИЛОК**) и тянете изоляцию. Если кусачки острые, то изоляция легко слезает.



**Совет.**

*Нужно держать кусачки плоской частью, направленной от провода, чтобы срезаемая изоляция упиралась в эту плоскую часть, а не зажималась стороной, заточенной на угол.*

Нельзя сильно сжимать при этом кусачки, то есть они не должны ни в коем случае оставлять надрезы и вмятины на медных жилах.

**Совет.**

*Если при зачистке у вас оторвалось несколько жилок вместе с изоляцией или вы заметили вмятины от кусачек, то обрежьте провод и снова зачищайте конец.*

Особенно трудно пинцетом держать фторопластовый провод, так как последний всегда мылкий на ощупь. Пинцет с гладкими губками может не удержать провод. Пинцет с зубчатыми губками может повредить изоляцию или жилки.

В данном случае желательно не использовать пинцет с тонкими кончиками, так как площадь зажима будет мала, и придется нажимать сильнее и может быть и это не поможет.

**Совет.**

*Если провод выскальзывает, то лучше накрутить его на кончик пинцета, чтобы увеличить площадь трения.*

В любом случае пинцет с широкими губками предпочтителен, как меньше травмирующий провод.

### Обычная канифоль

Обычная канифоль — твердая и прозрачная, похожая на леденец, легко плавится паяльником, хотя некоторые растворяют ее в спирту для удобства капания на детали пипеткой. Канифоль еще продается в магазине музыкальных товаров для натирания смычков. Для обычной пайки достаточно простой канифоли, а кислотный флюс придержите для труднопаяющихся деталей. Он содержит соляную кислоту. Поучитесь пока с ней, с живой канифолью. Чем чище воздух, тем лучше.

**Совет.**

*Канифоль расходуют немного, а не суют в нее паяльник и не задымляют всю комнату.*

Пары канифоли не особо полезны, поэтому не паяют в комнатах без окон. Должна быть тяга, но не охлаждающая паяльник. Например,

открытая форточка здорово задувает паяльник, поэтому не так просто обустроить себе удобное и безопасное рабочее место. Нужно проветривать после пайки или при долгой пайке.

**Есть такое правило.**

*Практически на 1 каплю припоя достаточно чуть коснуться канифоли, то есть она расходуется в 10 раз меньше, чем припой. Она нужна только для тонкой смазки поверхности двух контактов.*

**А куда сначала паяльник вставлять? В канифоль или в припой?**

**Не вставлять, а касаться.** Когда залуживаешь конец паяльника первый раз, то сначала в канифоль, чтобы медь не окислялась, а потом суешь в припой и отрезаешь паяльником капельку от припоя и трешь ее на старой плате, пока кончик не покроется равномерным блестящим слоем припоя.

Бывает припой, изготовленный в виде тонкой проволоки (трубочки) с флюсом.

Если на плате полно припоя, то можно и не тыкать в припойную проволоку — для первого залуживания паяльника вполне хватит. Можно тыкать в канифоль несколько раз — это не страшно. Просто не задымляй комнату.

**Это интересно знать.**

*Припой тебе тоже могут подсунуть дешевый, но тугоплавкий, который ты не сможешь расплавить маломощным паяльником.*

Также на любом радиорынке или в радиомагазине есть легкоплавкий припой (сплав Вуда). Он расплавляется в горячем чае, можно купить кусок для хохмы, отлить из него чайные ложечки в гипсовой форме и разыгрывать друзей!!! Есть и довольно дорогие припои на основе серебра.

Итак, в первый раз нужно выяснить, через какое время паяльник перегревается. Если через пять-десять минут после включения им уже невозможно паять (припой слетает, а кончик окисляется, — чернеет), то нужен **электронный терморегулятор** или хотя бы трансформатор с переключателем или плавной регулировкой. Об этом — в следующем разделе.

Когда все отлажено, то включаешь его, и через 5—7 минут паяешь, не думая о паяльнике, то есть паяльник становится как бы продолжением руки.

Можно паять и перегревающимся паяльником без регулятора, но тогда его периодически нужно выключать. Но паяльник быстро остывает. В общем, не так просто поддерживать нужную температуру, поэтому этот метод применяется редко, не для качественных паяк, а по необходимости.

### Пайка радиодеталей на плату

Перед пайкой радиодетали, ее следует подготовить. С помощью узких плоскогубцев согните выводы детали таким образом, чтобы они входили в отверстия платы.



#### Совет.

*Полезно иметь специальное приспособление для гибки выводов деталей под определенные расстояния между монтажными отверстиями.*

Вставьте деталь в отверстия на плате. При этом следите за правильным размещением (полярностью) детали, например, диодов или электролитических конденсаторов. После этого слегка разведите выводы с противоположной стороны платы, чтобы деталь не выпадала из своего места. Не следует разводить выводы слишком сильно. Перед пайкой еще раз протрите жало паяльника о влажную губку!

Расположив жало паяльника между выводом и платой, как изображено на рис. 4.10, а, разогрейте место пайки. Время разогрева должно составлять не более 1-2 с, чтобы не вывести из строя деталь или плату.

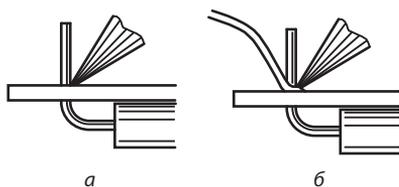


Рис. 4.10. Этапы пайки

Через 1-2 с поднесите припой к месту пайки (рис. 4.10, б). При касании припоем жала паяльника может брызнуть флюс. После того, как необходимое количество припоя расплавится, отведите проволоку от места пайки. Подержите жало паяльника в течение секунды у места пайки, чтобы припой

равномерно распределится по месту пайки. После этого, не сдвигая деталь, уберите паяльник и подождите несколько мгновений, пока место пайки не остынет окончательно.

Теперь можно отрезать излишки выводов с помощью бокорезов. При этом следите за тем, чтобы не повредить место пайки.

Проверьте место пайки! **Качественное место пайки** соединяет контактную площадку и вывод детали, имеет гладкую и блестящую поверхность.

Если место пайки имеет сферическую форму или имеет связь с соседними контактными площадками, разогрейте место пайки до расплавления припоя и удалите излишки припоя. На жале паяльника всегда остается небольшое количество припоя.

Если место пайки имеет матовую поверхность и выглядит исцарапанным, то говорят о «холодной пайке». Разогрейте место пайки до расплавления припоя и дайте ему остыть, не сдвигая детали. При необходимости добавьте немного припоя.

После этого можно удалить остатки флюса с платы с помощью подходящего растворителя. Эта операция не является обязательной, ведь флюс может оставаться на плате. Он не мешает и ни в коем случае не влияет на функционирование схемы.

### Оптимальное прогревание места спаивания деталей

Если вы паяете транзистор, придерживайте пинцетом его выводы во избежание их перегрева. Если нужно спаять концы двух залуженных проводников, плотно сдавите их друг с другом и до места их соприкосновения дотроньтесь паяльником с каплей припоя на конце жала.

Как только поверхность прогреется, припой растечется и заполнит промежутки между проводниками. Плавным движением паяльника распределите припой равномерно по всему месту спаивания.



#### **Это интересно знать.**

*Продолжительность пайки не должна превышать 5 с. Припой быстро твердеет и крепко соединяет детали. Однако не стоит сдвигать с места спаянные проводники еще в течение 10 с.*

Во время монтажа нужно учитывать, что, налаживая конструкции, приходится перепаявать проводники или заменять детали. Например, концы деталей, которые соединяются с общим проводником в соответствии со схемой, следует припаивать не в одной точке, а на некотором расстоянии один от другого.



#### **Совет.**

*Не рекомендуется закручивать концы деталей вокруг проводника.*

## Использование паяльной пасты

При пайке в домашних условиях припой обычно наносят с помощью горячего паяльника. Контролировать количество расплавленного припоя, переносимого паяльником, крайне затруднительно: оно зависит от температуры плавления припоя, температуры и чистоты жала и от других факторов.

Не исключено при этом попадание капель расплавленного припоя на проводники, корпуса элементов, изоляцию. Это заставляет вести работу крайне осторожно и аккуратно, и все же бывает трудно добиться хорошего качества пайки. Облегчить пайку и улучшить ее можно с помощью **паяльной пасты**. Для приготовления пасты напильником измельчают припой и смешивают его опилки со спирто-канифольным флюсом. Количество припоя в пасте подбирается опытным путем. Если паста получилась слишком густой, в нее добавляют спирт. Хранить пасту нужно в плотно закрывающейся посуде. На место пайки пасту наносят небольшими дозами металлической лопаточкой.



### Это интересно знать.

*Применение паяльной пасты позволяет избежать перегрева малогабаритных деталей и полупроводниковых приборов.*

При сращивании проводов, трубок, стержней, когда нет возможности воспользоваться электрическим паяльником, применяют «паяльную ленту». Чтобы изготовить паяльную ленту, необходимо сначала составить пасту из порошка припоя, канифоли и вазелина. Порошок получают путем опиливания прутка припоя напильником с крупной насечкой (мелкая забивается припоем). Приготовленную пасту наносят тонким слоем на миткалевую ленту. Место пайки обматывают в один слой «паяльной лентой», смачивают бензином или керосином и поджигают. Соединяемые поверхности желательно предварительно облудить.

## Как паять мелкие детали

Если нужно паять мелкие детали или детали, боящиеся перегрева, а нет паяльника малой мощности, то пайку можно осуществлять более мощным паяльником. Нужно надеть на его жало свернутую в спираль медную проволоку так, как показано на **рис. 4.11**.



**Рис. 4.11.** Приспособление к паяльнику для пайки мелких деталей

Конец этой проволоки должен быть заточен по такой же форме, как и жало обычного паяльника, советует сайт <http://transistor.3dn.ru>.

### Распайка

Распайка, хотя в это и трудно поверить, может быть немного проще пайки. Распаять контакт может почти каждый, но не повредить компоненты и проводники печатной платы очень нелегко. Для распайки надо иметь приспособления для отсасывания расплавленного припоя.

Это может быть резиновый сжимающийся шар («груша»), снабженный соответствующим наконечником. После расплавления припоя отпускают до этого сжатую «грушу», происходит всасывание припоя внутрь ее. Для этих же целей можно использовать медную оплетку, заполненную флюсом. Ее подносят к расплавленной точке, нагревают паяльником, и расплавленный, припой проникает внутрь оплетки благодаря капиллярному эффекту.

### Типичные ошибки начинающих радиолюбителей

Начинающие радиолюбители касаются места пайки только кончиком жала паяльника. При этом к месту пайки подводится недостаточно тепла. Опытный радиолюбитель обладает чувством оптимальной теплопередачи. Он прикладывает жало паяльника таким образом, чтобы между ним и местом пайки образовалась как можно большая площадь контакта. Кроме того, он очень быстро вводит между жалом и деталью немного припоя в качестве теплопроводника.

Начинающие радиолюбители расплавляют немного припоя и с некоторой задержкой подводят его к месту пайки. При этом часть флюса испаряется, припой не имеет защитного слоя, поэтому на нем образуется оксидная пленка.



**Это интересно знать.**

*Профессионал, напротив, всегда касается места пайки одновременно паяльником и припоем. При этом место пайки обволакивается каплей чистого расплава еще до того, как флюс успеет испариться.*

Начинающие радиолюбители часто не уверены, не перегрето ли место припоя. Они слишком рано отводят жало паяльника от места

пайки, затем вынуждены опять подводить его для подогрева, вновь отводят.

Результатом является серое место пайки с неровными границами, так как соединяемые детали были нагреты недостаточно сильно, а сам процесс длился слишком долго, и колофоний успел испариться.



**Это интересно знать.**

*Мастер, напротив, нагревает место пайки быстро и интенсивно и завершает процесс резко и окончательно.*

Еще ошибка начинающих радиолюбителей — компоненты паяют, а потом откусывают лишнюю длину ножек (<http://interlavka.narod.ru/novenkim/nov06.htm>). При этом качественного контакта добиться сложно. Повышенный теплоотвод и усложненный доступ жала к месту пайки только ухудшают образование надежного соединения.



**Совет.**

*Формуйте выводы компонентов и обрезайте их перед пайкой.*

При правильной технологии олово будет «обтекать» контакт самостоятельно. Обращайте внимание на состояние выводов компонентов: серые матовые выводы — окисленные. Придется лудить с флюсом. Будьте осторожны, ведь можно пережечь компонент.

## 4.10. Соединение различных металлов

### Начинаем паять

Паяльник приобретен, инструменты и необходимые материалы готовы. Вы удобно разместились за столом в хорошо освещенном и хорошо проветриваемом помещении. Паяльник расположился на удобной подставке, предотвращающей его случайное падение, все легковоспламеняющиеся материалы и жидкости убраны от него подальше. Можно включить его в розетку и начинать.

Для начала несколько простейших правил, соблюдение которых позволит вам получить качественную пайку:

- ♦ поверхности перед пайкой должны быть тщательно зачищены до блеска;

- ♦ соединяемые детали должны перед пайкой иметь хороший механический контакт друг с другом;
- ♦ во время пайки соединяемые детали необходимо прогреть до температуры плавления припоя, чтобы он равномерно растекался по поверхности.

### Соединение двух проводов

Например, возникла необходимость соединения двух проводов. Для начала надо зачистить кончики, распушить медные жилки, переплести их и произвести плотную скрутку и нанести на спаиваемый участок несколько капель флюса или выдавить немного флюс-геля.

Затем взять на жало паяльника каплю припоя, разогреть место пайки так, чтобы припой пропитал скрученные проводники.

Для изоляции места пайки можно применить **изоленту**, но лучше воспользоваться **термоусадочной трубкой**, которую надевают поверх соединения и слегка подогревают, чтобы она сжалась и надежно зафиксировалась на месте пайки.



#### Совет.

*Обсаживать трубку удобнее всего горячим воздухом из паяльного или строительного фена.*

Если такой возможности нет, то трубку можно нагревать над пламенем газовой горелки, спиртовки или зажигалки. Но тут надо быть осторожным и не перегреть. Не подносите термоусадочную трубку близко к пламени. Она может закоптиться. Кроме того что это портит внешний вид, осажденная сажа снижает электрическую прочность изоляции.

### Пайка сетевого разъема

Перед пайкой делаем надежную скрутку проводов на контактных лепестках разъема. Далее пропаиваются все соединения.



#### Совет.

*Припой не жалеть, он должен равномерно пропитать скрученные проводники и залить отверстия в контактных лепестках.*

Потом надежно изолируем места пайки термоусадочной трубкой. Надеюсь, не надо объяснять, сколько бед может наделать отвалившийся от разъема плохо изолированный провод под напряжением 220 В внутри вашего усилителя или, например, компьютера.



**Будьте осторожны.**

*При распайке сетевых разъемов и проводов качеству пайки и изоляции надо уделять особое внимание.*

### **Пайка мелких деталей, имеющих пластмассовый корпус**

Пайку таких деталей надо производить с особой аккуратностью. Возьмем, к примеру, **светодиод**. Они сейчас применяются повсеместно в качестве индикаторных элементов или как элементы подсветки. Корпус светодиода сделан из прозрачной пластмассы. При сильном нагреве выводы светодиода могут просто отвалиться или произойдет помутнение прозрачного пластика, из которого выполнен светодиод.



**Будьте осторожны.**

*Пять светодиоды надо на расстоянии не менее 5 мм от корпуса. Время пайки не должно превышать 3—5 с.*

Вывод между местом пайки и корпусом светодиода надо зажать пинцетом. Пинцет будет отбирать от вывода лишнее тепло, предотвращая перегрев

После пайки выводы светодиода надо надежно изолировать. В таком виде светодиод не страшно размещать в любом месте системного блока не боясь замыкания.

Все эти рекомендации в равной степени относятся и к другим электронным компонентам, имеющим пластмассовый корпус, начиная с конденсаторов, кончая транзисторами.

### **Пайка свободных проводов и электронных компонентов**

Пусть необходимо соединить светодиод с ограничивающим резистором и припаять к ним питающий кабель. Здесь не используются монтажные штифты, платы или другие вспомогательные элементы. Необходимо выполнить следующие операции.

**Шаг 1.** Снять изоляцию с концов провода. Тонкие медные проводники абсолютно чисты, так как они были защищены изоляцией от кислорода и влажности.

**Шаг 2.** Скрутить отдельные проводки жилы. Таким образом, можно предотвратить их последующее разломачивание.

**Шаг 3.** Залудить концы проводов. Во время лужения разогретое жало паяльника необходимо подвести к проводу одновременно с припоем. Провод необходимо хорошо разогреть, чтобы припой равномерно распределился по поверхности жгута. Легкое потирание жалом помогает распределению припоя по всей длине лужения.

**Шаг 4.** Укоротить выводы светодиода и резистора и также залудить их. Хотя выводы и лудились при изготовлении радиоэлементов, но в процессе хранения на них мог образоваться тонкий слой окислов. После лужения поверхность вновь будет чистой. Если используются очень старые радиодетали, выпаянные из каких-либо плат, на них, как правило, сильно окислены. Выводы таких деталей перед лужением необходимо очистить от окислов, например, поскрести их ножом.

**Шаг 5.** Удерживая соединяемые выводы параллельно друг другу, нанесите на них небольшое количество расплавленного припоя. Место пайки должно прогреваться быстро, расход припоя при этом — 2—3 мм (при диаметре 1,5 мм). Как только припой равномерно заполнит промежутки между соединяемыми выводами, необходимо быстро отвести паяльник. Место пайки должно оставаться в покое, пока припой не затвердеет полностью. Если детали сдвинутся раньше, то в пайке образуются микротрещины, снижающие механические и электрические свойства соединения.

### **Пайка микросхемы на печатную плату**

Пайка радиодеталей в плату требует меньших усилий, чем соединение свободных проводов, так как отверстия в плате служат хорошим фиксатором припаиваемой детали. Однако и здесь результат зависит от опыта и удачи. Первая схема или первый проект, собираемый на макетной плате, скорее всего, завершится крахом еще на первых пропаянных точках, которые будут выглядеть так, как будто это сплошной проводник... Но после нескольких упражнений каждое соединение будет выглядеть все лучше и лучше.

Как добиться равномерно хороших соединений. Итак, перейдем к описанию отдельных шагов.

**Шаг 1.** Припой и жало паяльника подводятся к монтажной точке одновременно. Жало паяльника должно касаться как обрабатываемого вывода, так и платы.

**Шаг 2.** Положение жала паяльника не изменяется, пока припой не покроет равномерным слоем все место контакта. В зависимости от температуры паяльника это продолжается от полусекунды до секунды. За это время происходит достаточный нагрев места пайки.

**Шаг 3.** Теперь жало паяльника следует обвести по полукругу вокруг обрабатываемого контакта, одновременно перемещая припой во встречном направлении. Таким образом, на место пайки наносится еще около 1 мм припоя. Место пайки нагрето настолько, что расплавившийся припой под действием сил поверхностного натяжения равномерно распределяется по всей контактной площадке.

**Шаг 4.** После того, как необходимое количество припоя нанесено на место пайки, можно отвести проволоку припоя от места пайки.

**Шаг 5.** Быстрый отвод жала паяльника от места пайки. Пока еще жидкий и покрытый тонким слоем флюса припой обретает свою окончательную форму и застывает.

Если жало паяльника имеет оптимальную температуру, весь процесс продолжается не более одной секунды. И после небольшой практики все точки пайки начнут походить друг на друга как две капли воды.

### Техника соединения лакированным проводом

Существует два основных варианта сборки (экспериментальных) радиоэлектронных схем в домашних условиях:

- ♦ полосковые платы;
- ♦ растровые платы с выполнением соединений лакированным проводом.

Техника соединений лакированным проводом годится также и для более крупных проектов. При этой технике тонкие лакированные проводники прокладываются между точками пайки.

Лаковое покрытие отжигается в тех местах провода, где должна производиться пайка. Итак, лакированный провод должен быть проложен между двумя имеющимися точками пайки.

**Шаг 1.** Первый конец провода припаивается в необходимое место. В зависимости от температуры паяльника требуется от одной до трех секунд, пока лак не расплавится. Остатки оплавленного и выгорев-

шего лака налипают на жало паяльника, которое необходимо регулярно очищать и залуживать свежим припоем.

**Шаг 2.** Провод протягивается ко второму месту пайки и огибается вокруг него таким образом, чтобы образовался острый угол, указывающий на место на проводе, которое будет припаиваться.

**Шаг 3.** Припаивается место отгиба. Эта операция длится дольше вышеописанной, так как теперь приходится обрабатывать покрытый лаком участок, имеющий худшую теплопроводность по сравнению с чистым концом провода. Однако и здесь с некоторой долей терпения и припоя можно расплавить лак и залудить провод на участке в несколько миллиметров.

**Шаг 4.** Производим пайку второго конца провода.

**Шаг 5.** В заключение натяните свободный конец провода и отогните его несколько раз в разные стороны, пока он не обломится в точности по месту пайки. На этом выполнение соединения завершено, — можно переходить к следующему.

### Перед пайкой на плате

Прежде чем приступить к пайке, разберитесь с платой. Если вы делали ее самостоятельно, то, скорее всего, она без паяльных покрытий: голая медь. Перед пайкой все контактные площадки придется облудить: покройте их флюсом и нанесите олово паяльником так, чтобы не закрыть отверстия в плате.

При правильно подобранной температуре и хорошем флюсе, олово с жала паяльника само «обтечет» всю контактную площадку, как только вы ее коснетесь.



#### **Совет.**

*Не стоит брать на жало паяльника огромные капли олова: касаетесь жалом прутка, и через секунду на жале будет необходимое количество.*

Плата, покрытая оловом (промышленного изготовления), избавляет от этой работы, но и стоит соответственно. Плата готова? При необходимости удалите остатки флюса, и можете приступить к пайке.

## Пайка печатных плат

Печатная плата сильно облегчает процесс изготовления радиосхемы. Все электрические соединения выполнены дорожками из медной фольги. Детали надежно закреплены и не боятся вибраций.

Вставляем деталь в нужное место платы и подбираем нужную глубину посадки. Наносим флюс маленькой кисточкой.

Берем паяльником немного припоя и подносим к месту пайки таким образом, чтобы плоскость жала была обращена к детали, а сам паяльник находился под углом 45 градусов.



### Это интересно знать.

*При хорошем флюсе, нормальном припое и нормально нагретом паяльнике пайка одной контактной площадки занимает около секунды.*

Правильно выполненная пайка не должна иметь каких-либо наплывов, трещин и должна блестеть.

Торчащие ножки ликвидируем кусачками. После окончания монтажа и выполнения пуско-наладочных работ, протираем плату спиртом. Применение ацетона не рекомендую, некоторые детали и провода могут пострадать. Ну а элементы, содержащие механику, такие как реле, тумблеры и подстроечные резисторы, вообще нельзя мыть ничем, их впаивают после промывки.



### Совет.

*Для начинающих рекомендую начать с опытов на макетной плате.*

Подбираем оптимальное расположение деталей. Отпиливаем кусочек платы нужного размера, впаиваем компоненты. Соединения делаем тонким проводом. Не забываем про перегрев. Работаем аккуратно и внимательно, чтобы случайно не замкнуть соседние контакты. Иногда полезно проверить замыкание дорожек тестером, иногда на свет видно. Учимся и тренируемся.

А сколько приятных минут (часов, дней) вы проведете в поисках неправильного соединения!

Еще одна хитрость напоследок. Сейчас расскажу, как выпаять радиодеталь из платы, или устранить досадное замыкание контактных площадок микросхемы.

Для этого понадобится кусочек медной оплетки от экранированного провода. Прикладываем оплетку в нужное место, капаем флюса, прижимаем паяльник. Припой впитался в нее.

Остается покачать все ножки пинцетом и извлечь деталь. Для этой цели есть и специальные **оловоотсосы**, отмечается на <http://datagor.ru/>.

### Замена резисторов, транзисторов в обычных платах

Рассмотрим такие транзисторы, которые имеют проволочные ножки и впаиваются в отверстия на плате. Отпаять такой компонент (особенно если это конденсатор, резистор или транзистор — детали, имеющие 2-3 вывода) проблем не составляет. Достаточно прогреть с обратной стороны платы контактные площадки и при помощи пинцета выдернуть элемент из платы.

Перед пайкой нового элемента необходимо прочистить от припоя отверстия. Вот тут то и приходит на помощь иглолка от шприца. Игла сделана из нержавеющей стали, к которой припой не прилипает. Ею очень удобно прочищать отверстия в печатных платах.



#### Совет.

*Чтобы случайно не повредить металлизацию отверстий в многослойных платах, кончик иглолки лучше затупить при помощи надфиля или точильного круга.*

### Замена микросхем в обычных платах

Что делать, если требуется выпаять микросхему, имеющую много выводов. Например, микросхему с 16 ножками. Вариантов тут несколько.

**Вариант 1.** При использовании термовоздушной паяльной станции достаточно просто прогреть до температуры плавления припоя весь участок, на котором запаяна микросхема, и пинцетом вытащить ее из платы.

**Вариант 2.** Можно воспользоваться специальной широкой насадкой на жало паяльника, которая прогревает одновременно сразу все выводы микросхемы.

**Вариант 3.** Если же пользоваться обычным паяльником, то тут снова на помощь придет игла. Иголку надевают на торчащий кончик вывода, нагревают паяльником контактную площадку и, слегка вра-

щая иглу, надевают ее на вывод. Потом дают остыть припою и убирают иглу. Вывод оказывается освобожденным от припоя. Повторив такую операцию несколько раз (по количеству выводов микросхемы) ее можно будет легко снять с платы.

### Замена SMD компонентов на платах

**SMD** — Surface Mounted Devices — компоненты для поверхностного монтажа — так расшифровывается эта английская аббревиатура. Они обеспечивают более высокую, по сравнению с традиционными деталями, плотность монтажа. К тому же монтаж этих элементов, изготовление печатной платы оказываются более технологичными и дешевыми при массовом производстве. Поэтому эти элементы получают все большее распространение и постепенно вытесняют классические детали с проволочными выводами.

Очень часто встает задача пайки этих SMD компонентов. Если раньше они встречались в основном на компьютерных платах, то сейчас поверхностный монтаж можно встретить и в усилителях и в малогабаритных приемниках и другой бытовой технике.

Для работы с такими деталями удобнее всего, конечно, воспользоваться горячим воздухом. **Термовоздушные паяльные станции** как раз и предназначены для такого вида работ. Направляем струю нагретого воздуха на подлежащий замене элемент и после разогрева припоя просто снимаем пинцетом деталь с платы. Температура плавления припоя, используемого для поверхностного монтажа, как правило, лежит в пределах 180—200 °С.



#### **Будьте осторожны.**

*Во избежание повреждения элементов температуру воздуха на выходе из паяльного фена не рекомендуется делать выше 250—300 °С.*

Пайка таких мелких деталей требует аккуратности. Прежде чем браться за перепайку рабочей платы, желательно потренироваться на неисправной, подобрав температурный режим фена и напор воздуха.



#### **Будьте осторожны.**

*Сильный напор может сдуть соседние элементы с платы.*

Припаивать детали горячим воздухом тоже очень просто. Необходимо положить на предварительно смоченные флюсом контактные площадки припаиваемый элемент и, придерживая его иглой или пинцетом, нагреть до расплавления припоя, который надежно зафиксирует деталь.

Что делать, если необходимо произвести пайку SMD компонентов, а под руками **нет паяльного фена**. Мелкие детали можно паять и обычным паяльником. На подлежащую замене деталь капаем капельку флюса, рядом с ней ложиться кусочек припоя.

Затем паяльником расплавляется припой таким образом, чтобы капелька припоя охватывала оба конца детали. Деталь снимается пинцетом.

**Совет.**

*Контактные площадки надо очистить от лишнего припоя. В этом нам поможет специальная оплетка для удаления припоя. Она представляет собой сплетенный из тонких медных проводов жгутик.*

На проводки наносится флюс и прижимается паяльником к месту пайки. Оплетка, как губка, впитывает расплавленный припой, оставляя на контактных площадках только тончайший слой.

**Припаять новый элемент** большого труда не составит. Его надо положить на контактные площадки и, набрав на паяльник небольшое количество припоя, прикоснуться к выводам элемента.

**Будьте осторожны.**

*Не забудьте перед установкой детали нанести на контактные площадки немного флюса.*

Гораздо больше проблем возникает, когда надо припаять микросхему, имеющую большое количество близкорасположенных выводов. При помощи паяльной станции операция по пайке занимает несколько минут. Микросхема устанавливается на плату. Выводы тщательно позиционируются на контактных площадках, предварительно покрытых тонким слоем флюса, и сверху горячим воздухом производится нагрев до плавления припоя. Это быстрый и удобный способ пайки.

Но и здесь можно обойтись обычным паяльником. Микросхема устанавливается на предварительно зачищенные контактные площадки и тщательно позиционируется.

**Совет.**

*Чтобы во время пайки микросхема не сдвинулась, можно прихватить припоем крайние ножки. Потом пропаиваются все выводы.*

Теперь требуется удалить излишки припоя и устранить перемычки между выводами. Для этой цели опять можно воспользоваться оплеткой для удаления припоя. Оплетка прижимается горячим паяльником к выводам микросхемы. Излишки припоя впитываются в оплетку. Остается только минимальное количество припоя, необходимое для надежного крепления микросхемы к контактным площадкам.

После удаления излишков припоя необходимо внимательно **осмотреть выводы микросхемы** на предмет отсутствия замыканий (лучше воспользоваться для этого увеличительным стеклом). Пайка выглядит почти как заводская.

Со временем, если не забросите это увлекательное и интересное занятие вы приобретете еще и столь необходимый в любом деле опыт. Сможете самостоятельно решить какой еще дополнительный инструмент вам понадобится, какие расходные материалы лучше использовать.

**Совет.**

*Зайдите на сайт одного из ведущих производителей паяльного оборудования немецкой фирмы Ersa <http://www.ersa.com/> или его российскую версию <http://www.ersa.ru/>. Там можно найти много интересной информации о новейших технологиях в области пайки, о применяемом оборудовании и о приемах работы с различными видами паяльников.*

## SMD-адаптер

При разработке прототипов все чаще возникают проблемы, связанные с тем, что необходимая микросхема доступна только в корпусе для поверхностного монтажа. Начиная с расстояния между выводами 0,65 мм, выполнение соединений с помощью лакированного провода требует много сил и времени. Однако все необходимые соединения удастся выполнить в домашних условиях, используя адаптерные платы TSSOP. На интересном сайте <http://fi-com.ru/> с иллюстрациями показано, как используется этот SMD-адаптер (рис. 4.12). Там рассматривается ЦАП DAC6573 в 16-выводном корпусе TSSOP.

**Шаг 1.** Сначала необходимо осторожно припаять микросхему к адаптеру за два вывода по диагонали. На этом шаге необходимо обеспечить, чтобы выводы микросхемы располагались в точности над дорожками адаптера. Добившись этого, покройте все выводы большим количеством припоя.

**Шаг 2.** Затем излишки припоя удаляются с места пайки с помощью литцы. Большая часть припоя впиталась в литцу. На плате осталось ровно столько припоя, сколько необходимо для обеспечения надежного электрического и механического соединения.

Имеются различные возможности перехода на главную плату или экспериментальную плату. Растровые отверстия имеют диаметр 0,8 мм. Стандартные монтажные штекеры не входят в них, однако прецизионные штекеры с цилиндрическими ножками — которые могут вставляться и в панельки микросхем — имеют необходимый диаметр. Впрочем, часто можно обойтись и простыми отрезками проводов.

Здесь необходимые соединения выполнены с помощью отрезков серебряного провода диаметром 0,6 мм.

Микросхема имеет и другие выводы, однако некоторые из них соединены с массой, другие — с линией питания и разводятся на самом адаптере. Кроме того, на плате адаптера был смонтирован блокирующий конденсатор. Готово!

Получившаяся «большая» микросхема теперь может быть вставлена в лабораторную монтажную плату или впаяна в большую плату. SMD-адаптеры и лабораторные монтажные платы можно приобрести, например, в интернет-магазинах.

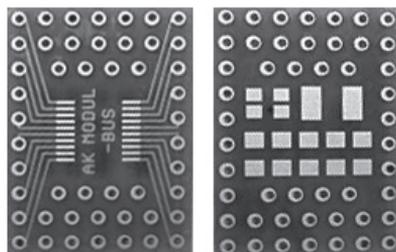


Рис. 4.12. Внешний вид платы SMD-адаптера

### Блиц-пайка SMD-компонент в домашних условиях

Работая с SMD-компонентами, радиолюбители обязательно сталкиваются с проблемой их пайки. Опытном с читателями делится А. В. Черномырдин (ака chav1961). Столкнувшись однажды с необходимостью пайки более тысячи компонент (что растянулось на три недели), он придумал следующую технологию для пайки плат, на которых SMD-компоненты расположены с одной стороны. Если такие компо-

ненты есть с обеих сторон, вторую сторону придется паять руками. **Иллюстрации и подробности** см. на <http://chav1961.narod.ru/radio/technology/blitz/blitz.html>.

**Шаг 1.** Необходимо приобрести паяльную пасту, на рынке или на <http://www.promelec.ru/>. Паста представляет собой порошок припоя в смеси с хлористым цинком и какой-то вязкой структурой на водной основе.

**Шаг 2.** Вначале на бумажке, на которой выведен рисунок печатной платы (лучше в натуральную величину и с указанием всех деталей) раскладываем по своим местам все SMD-компоненты, которые нужно будет припаять. Не нужно пропускать этот этап, — когда будет выполнен следующий пункт, у вас останется очень мало времени для установки компонент на плату, поэтому все должно быть заранее под рукой.

**Шаг 3.** Протравленную печатную плату зачищают шкуркой и покрывают с помощью кисточки паяльной пастой. Особо обратите внимание — отверстия в плате сверлить нельзя, их нужно будет высверлить только после пайки!

Паста должна едва покрывать дорожки, чтобы они все «просвечивали» через слой пасты. Чтобы равномернее размазать пасту по плате, очень не помешает капнуть на плату одну каплю воды. Избыток воды крайне вреден — при ее выкипании (см. далее) детали могут сдвинуться с мест. Большие пустые места на плате, естественно, мазать пастой не надо.

Пасту лучше «наковырять» со дна емкости, поскольку припой оседает вниз, и в верхней части в основном располагается вязкая структура.

Механических усилий при «ковырянии» нужно применять минимум, чтобы порошок припоя не слипся от давления (я обычно просто переворачиваю банку и даю пасте время стечь вниз). В инструкции по применению пасты рекомендуется работать в респираторе и в вентилируемых помещениях. На мой взгляд, этих рекомендаций очень даже стоит придерживаться!

**Шаг 4.** На подготовленную таким образом плату перекладываем с бумажки все компоненты по своим местам. Стремиться как-то особо точно устанавливать компоненты не нужно, главное, чтобы выводы компонентов попали на свои контактные площадки. Большие детали с плоской поверхностью (например, мощные ключи) нужно при установке слегка прижать, остальные детали каких-либо прижимов не требуют.

**Шаг 5.** Берем утюг — какой же радиолюбитель без утюга! Ставим утюг подошвой вверх, устанавливаем терморегулятор в среднее положение, например, «\*\*\*», включаем и ждем, пока пару раз не сработает

терморегулятор (чтобы стабилизировалась температура поверхности). Правильно нагретый утюг должен плавить на подошве олово, но не жечь плату.

**Шаг 6.** На поверхность утюга кладем четыре ненужных SMD-резистора, а на них — плату с разложенными деталями (резисторы нужны, чтобы исключить контакт платы с поверхностью утюга). Терпеливо ждем, когда паста на поверхности начнет плавиться. Нужно, чтобы она расплавилась по всей поверхности платы! Затем аккуратно снимаем плату и даем ей остыть.



**Будьте осторожны.**

*Не вздумайте что-то при этом трогать или прижимать (особенно большие детали с плоской поверхностью) — припой немедленно из-под них вытечет и что-нибудь обязательно замкнет — проверено!*

Если пасты намазано минимально количество, никаких посторонних замыканий (в том числе и под корпусами SMD-микросхем) никогда не происходит, как это ни невероятно.

**Шаг 7.** Остывшую плату обязательно моем кисточкой с моющим средством («Капля», «Фейри» и т. д.), а после этого — спиртом или ацетоном. Если пасты было много, на поверхности платы будет масса мелких и мельчайших шариков припоя — их все, естественно, нужно отчистить этой же кисточкой.



**Будьте осторожны.**

*Повторюсь еще раз — пасты должен быть минимум.*

**Шаг 8.** Сверлим отверстия. Устанавливаем обычные компоненты. Наслаждаемся.

Пайка получается очень аккуратная — почти как заводская. Скорость пайки возрастает не просто в разы — на порядки.



**Это интересно знать.**

*Главная проблема — приноровиться с температурой утюга и с толщиной слоя пасты.*

Рискну также предположить, что таким способом не стоит паять входные каскады усилителей с высоким входным сопротивлением — остатки пасты наверняка вожгутся в поверхностный слой платы и все

напортят. Конечно, вместо утюга намного лучше была бы паяльная станция с феном, если она есть.

Несколько слов о проблемах этого метода. Двухлетний опыт применения этой технологии выявил несколько проблем — и, естественно, несколько путей их решения. Коротко перечислю их.

**Проблема 1.** Паять описанным способом односторонние платы нежелательно. Причина проста — коэффициент теплового расширения меди и стеклотекстолита несколько отличается друг от друга (хотя и немного). По этой причине при пайке изгиб платы может достигать 0,2—0,3 мм. Из-за этого она нагревается неравномерно, и края ее слегка подгорают. К тому же у некоторых марок одностороннего стеклотекстолита при таком нагреве начинается внутреннее расслоение (образование пузырей).

**Выход простой** — всегда использовать двухсторонний стеклотекстолит, а неиспользуемую сторону меди просто удалять. На двухстороннем стеклотекстолите описанные выше явления ни разу не наблюдались, да и пайка с ним получается намного более «ровная» (видимо, из-за того, что медь с нижней стороны платы обеспечивает равномерное распределение тепла по поверхности платы).

**Проблема 2.** При пайке могут возникать проблемы в высоковольтных цепях. Дело в том, что при пайке на поверхности платы неизбежно остается и флюс, и мельчайшие шарики олова. На напряжениях до 50—100 В диэлектрические свойства платы практически не ухудшаются, а вот при более высоких напряжениях на поверхности начинается «бенгальский огонь» с неизбежно печальными последствиями для конструкции.

**Для устранения этой неприятности** следует придерживаться некоторых правил:

- ♦ ни в коем случае не зачищать плату перед пайкой. Шкурка неизбежно оставит следы на клеевой основе, которой была приклеена к стеклотекстолиту медь, и на этих бороздах обязательно осядут и олово, и флюс. Вместо зачистки платы шкуркой ее необходимо перед пайкой протереть раствором кислоты (уксусной, соляной), после чего сполоснуть;
- ♦ азотную и серную кислоты использовать не следует, поскольку первая оставляет серьезные следы на меди, а вторая разрушает основу платы;
- ♦ повторю рекомендацию — минимум пасты. Ее практически не должно быть. Идеальный случай, когда после пайки все дорожки платы блестят, но ни на одной не заметно ни одной капли припоя;

- ♦ если плата будет работать в высоковольтных цепях, после мойки ее желательно минут пять прокипятить в воде (это не шутка, а абсолютно серьезная рекомендация). В воду желательно добавить несколько капель уксуса. После кипячения плату следует промыть еще раз, а затем высушить в тепле;
- ♦ плату обязательно нужно покрыть цапон-лаком или лаком ISOTEMP.

Опытом работы с SMD компонентами делится в Интернете *Александр Тимошкин (TANK)*. Несколько слов про необходимые для этой цели инструменты и расходные материалы. Прежде всего, это пинцет, острая иглолка или шило, кусачки, припой, очень полезен бывает шприц с достаточно толстой иглой для нанесения флюса.

Поскольку сами детали очень мелкие, то обойтись без увеличительного стекла тоже бывает очень проблематично. Еще потребуется флюс жидкий, желательно использовать нейтральный безотмывочный.

В любительских условиях удобнее всего такие детали паять при помощи специального паяльного фена или по-другому — **термовоздушной паяльной станцией**. Выбор их сейчас в продаже довольно велик и цены, благодаря нашим китайским друзьям, тоже очень демократичные и доступны большинству радиолюбителей.

Понадобится паяльник с тонким жалом. Лучше, если это жало будет выполнено по технологии «Микроволна», разработанной

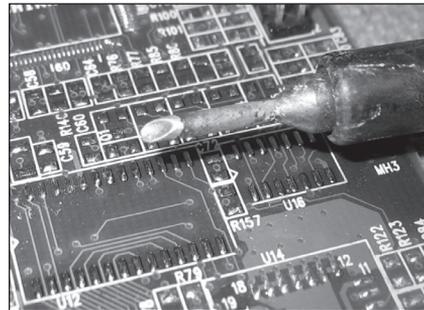


Рис. 4.13. Внешний вид паяльника с жалом (технология «Микроволна»)

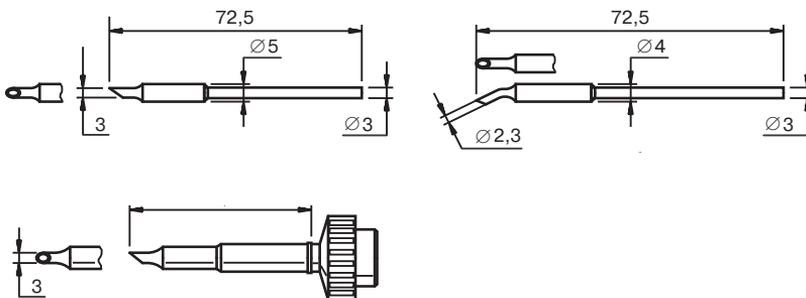


Рис. 4.14. Габаритные размеры жал по технологии «Микроволна»

немецкой фирмой Erga (рис. 4.13, 4.14). Оно отличается от обычного жала тем, что имеет небольшое углубление, в котором скапливается капелька припоя.

Такое жало делает меньше заливов при пайке близко расположенных выводов и дорожек. Настоятельно рекомендую найти и воспользоваться. Но если нет такого жала, то подойдет паяльник с обычным тонким наконечником.

В заводских условиях пайка SMD деталей производится групповым методом при помощи паяльной пасты. На подготовленную печатную плату на контактные площадки наносится тонкий слой специальной паяльной пасты. Делается это, как правило, методом шелкографии.



**Это интересно знать.**

*Паяльная паста представляет собой мелкий порошок из припоя, перемешанный с флюсом. По консистенции он напоминает зубную пасту.*

После нанесения паяльной пасты, робот раскладывает в нужные места необходимые элементы. Паяльная паста достаточно липкая, чтобы удерживать детали. Потом плату загружают в печь и нагревают до температуры чуть выше температуры плавления припоя. Флюс испаряется, припой расплавляется, и детали оказываются припаянными на свое место. Остается только дождаться охлаждения платы.

Вот эту технологию можно попробовать повторить в домашних условиях. Такую паяльную пасту можно приобрести в фирмах, занимающихся ремонтом сотовых телефонов.

В магазинах, торгующих радиодеталями, она тоже сейчас, как правило, есть в ассортименте, наряду с обычным припоем. В качестве дозатора для пасты можно воспользоваться тонкой иглой.

Будет лучше, если эту паяльную пасту набрать в шприц и через иглу аккуратно выдавливать на контактные площадки.

На смазанные пастой контактные площадки укладываем детали. В данном случае это резисторы и конденсаторы. Вот тут пригодится тонкий пинцет с загнутыми ножками.



**Это интересно знать.**

*Вместо пинцета некоторые пользуются зубочисткой, кончик которой для липкости чуть намазан флюсом. Тут полная свобода — кому как удобнее.*

После того как детали заняли свое положение, можно начинать нагрев горячим воздухом. Температура плавления припоя (Sn 63%, Pb 35%, Ag 2%) составляет 178 °С. Температуру горячего воздуха выставите 250 °С и с расстояния в десятку сантиметров начните прогревать плату, постепенно опуская наконечник фена все ниже.

**Будьте осторожны.**

*Осторожнее с напором воздуха — если он будет очень сильным, то он просто сдует детали с платы.*

По мере прогрева, флюс начнет испаряться, а припой из темно-серого цвета начнет светлеть и, в конце концов, расплавиться, растечется и станет блестящим. После того как припой расплавился, наконечник фена медленно отводите подальше от платы, давая ей постепенно остыть.

Паяльная паста, вообще говоря, может оказаться достаточно дефицитной и дорогой. Если ее нет в наличии, то можно попробовать обойтись и без нее. Как это сделать рассмотрим на примере пайки микросхемы. Для начала все контактные площадки необходимо тщательно и толстым слоем облудить.

Главное, чтобы он был распределен равномерно, а его количество на всех площадках было одинаково. После этого все контактные площадки смачиваем флюсом и даем некоторое время подсохнуть, чтобы он стал более густым и липким и детали к нему прилипали. Аккуратно помещаем микросхему на предназначенное ей место. Тщательно совмещаем выводы микросхемы с контактными площадками.

Пусть рядом с микросхемой размещаются пассивные компоненты, например, керамические и электролитические конденсаторы. Чтобы эти детали не сдувались напором воздуха, нагревать начинайте свысока. Торопиться здесь не надо. Если большую деталь сдуть достаточно сложно, то мелкие резисторы и конденсаторы запросто разлетаются кто куда.

Исправить положение можно обычным паяльником с тонким жалом, аккуратно пропаяв подозрительные ножки. Чтобы заметить такие дефекты пайки необходимо увеличительное стекло.

При должной степени аккуратности SMD элементы можно припаивать и обычным паяльником. Чтобы проиллюстрировать эту возможность припаиваем резисторы и пару микросхем без помощи фена одним только паяльником. **Начнем с резистора.** На предварительно

облуженные и смоченные флюсом контактные площадки устанавливаем резистор. Чтобы он при пайке не сдвинулся с места и не прилип к жалу паяльника, его необходимо в момент пайки прижать к плате иглой.

Потом достаточно прикоснуться жалом паяльника к торцу детали и контактной площадке и деталь с одной стороны окажется припаянной. С другой стороны припаиваем аналогично.



**Совет.**

*Припоя на жале паяльника должно быть минимальное количество, иначе может получиться «залипуха».*

**Транзисторы и микросхемы стабилизаторов** припаиваются аналогично. Сначала к плате рекомендуется припаять теплоотвод мощного транзистора. Тут припоя не жалейте. Капелька припоя должна затечь под основание транзистора и обеспечить не только надежный электрический контакт, но и надежный тепловой контакт между основанием транзистора и платой, которая играет роль радиатора.

Во время пайки можно иглой слегка пошевелить транзистор иглой, чтобы убедиться, что весь припой под основанием расплавился, а транзистор как бы плавает на капельке припоя. К тому же лишний припой из-под основания при этом выдавится наружу, улучшив тепловой контакт.

Теперь надо перейти к более сложной задаче — **пайке микросхемы**. Первым делом, опять производим точное позиционирование ее на контактных площадках. Потом слегка «прихватываем» один из крайних выводов.

После этого нужно снова проверить правильность совпадения ножек микросхемы и контактных площадок. После этого таким же образом прихватываем остальные крайние выводы.

Теперь микросхема никуда с платы не денется. Осторожно, по одной припаиваем все остальные выводы, стараясь не посадить перемычку между ножками микросхемы.

Вот тут-то нам очень пригодится жало «микроволна» (рис. 4.14). С его помощью можно производить пайку многовыводных микросхем, просто проводя жалом вдоль выводов. Залипов практически не бывает, и на пайку одной стороны с полусотней выводов с шагом 0,5 мм уходит всего минута. Если же такого волшебного жала у вас нет, то просто старайтесь делать все как можно аккуратнее.

Что же делать, если несколько ножек микросхемы оказались залиты одной каплей припоя и устранить этот залип паяльником не удастся?

Тут на помощь придет кусочек оплетки от экранированного кабеля. Оплетку пропитываем флюсом. Затем прикладываем ее к «залипшему» и нагреваем паяльником.

Оплетка как губка впитывает в себя лишнюю припой и освобождает от замыкания ножки микросхемы. Видно, что на выводах остался минимум припоя, который равномерно залил ножки микросхемы.

### **Соединение проводов из сплавов высокого сопротивления**

Проволока из сплавов, обладающих большим удельным сопротивлением, очень трудно поддается пайке. Кроме того, проволочные резисторы во время работы в большинстве случаев сильно нагреваются, что не позволяет применять обычную пайку. Значительно лучшие результаты дает **сварка**, в особенности, если приходится соединять между собой концы тонкой проволоки.

Преимущество сварки состоит в том, что для ее выполнения никаких припоев не требуется. Контакт при этом получается очень надежный, так как температура нагрева свариваемых металлов значительно выше, чем, например, у оловянно-свинцовых припоев. Поэтому в эксплуатации даже при сильном нагреве сваренного контакта соединение проводов не нарушается.

Рассмотрим **простой способ сварки проводов высокого сопротивления**. Для соединения проводов из сплавов высокого сопротивления (нихром, константан, манганин и т. п.) можно использовать упрощенный способ сварки без применения какого-либо специального инструмента.

Провода в месте их соединения следует зачистить, скрутить и пропустить через них ток такой силы, чтобы место сварки накалилось докрасна. На это место пинцетом кладется кусочек **ляписа**, который при нагревании расплавляется, в результате чего в месте соединения возникает прочный контакт.

### **Соединение без паяльника тонких медных проводов**

Чтобы сварить две тонкие медные проволочки, концы их зачищают на 20 мм, складывают вместе и аккуратно скручивают. Затем место соединения проводов нагревают спичкой до тех пор, пока не появится шарик расплавленного металла, дающий надежный контакт.

Заметим попутно, что в пламени спички можно соединять тонкие медные провода и способом пайки, но без использования паяльника. Для этого зачищенные до блеска и скрученные между собой два провода следует смазать составом: порошок канифоли (25%) и оловянная пыль (50%), смешанные с эфиром (25%). Эфир в случае необходимости можно заменить спиртом.

Смесь следует хранить в сосуде с притертой пробкой. Место соединения проводов, подготовленное этим способом, нагревается в пламени спички, в результате чего происходит их прочная пайка.

### Пайка нихрома

Считается, что нихром не поддается пайке. Но соединение нихрома с нихромом, медью и ее сплавами, а также изделиями из стали можно в отдельных случаях производить пайкой, используя флюс следующего состава: вазелина — 100 г, хлористого цинка в порошке — 7 г, глицерина — 5 г. Для обезжиривания места соединения используется 10%-ный спиртовой раствор двуххлористой меди — 100 мл.

Флюс готовят в фарфоровой ступке, в которую сначала помещают вазелин, а затем добавляют в последовательности, указанной в рецепте, остальные компоненты, хорошо перемешивая их до получения однородной массы.

Поверхности спаиваемых деталей перед пайкой тщательно зачищают шлифовальной шкуркой, а затем протирают ваткой, смоченной 10%-ным спиртовым раствором двуххлористой меди. После этого поверхности смазывают флюсом, облуживают и только тогда спаивают вместе. Для пайки желательно применять припой ПОС-40 или ПОС-60.

### Простейший способ соединения нагревательной обмотки

Перегоревший провод обмотки реостата или нагревательного прибора (нихром, никелин, константан) можно соединить следующим способом: концы провода (в месте обрыва) вытянуть на длину 1,5 — 2 см и зачистить до блеска шкуркой. Затем из листовой стали или алюминия вырезать небольшую пластинку, из которой сделать муфту, надеваемую на провода в месте их соединения. Провода должны быть скреплены предварительно обычной скруткой. В заключение муфту плотно сжимают плоскогубцами.

### Пайка алюминия

Пайку деталей из алюминиевых сплавов (дюралюминия) можно предпринимать лишь в тех случаях, когда эти детали не испытывают больших механических нагрузок, так как место пайки имеет невысокую прочность.

Как известно, трудность пайки алюминия заключается в том, что на поверхности его очень быстро образуется прочная пленка окисла. В различных известных способах пайки эта пленка удаляется по-разному химическим или механическим путем.

**Химическое удаление пленки** производится так: место на панели, к которому предполагается подпаять провод, зачищают. На него аккуратно наносят две-три капли насыщенного раствора медного купороса. Далее к панели подключают отрицательный полюс источника постоянного тока, а к положительному полюсу подсоединяют кусок медной проволоки. Конец этой проволоки опускают в каплю так, чтобы проволока не касалась панели. На панели через некоторое время осядет слой красной меди, к которому (после сушки) припаивают обычным способом нужный провод.

В качестве источника тока может быть применена батарейка от карманного фонаря или аккумулятора.

Кратко рассмотрим алгоритм пайки. Покрываете место пайки тонким слоем канифоли и сразу же натираете таблеткой анальгина. Далее облуживаете поверхность припоем ПОС-50, прижимая к ней с небольшим усилием жало сильно нагретого паяльника. Ацетоном смываете остатки флюса. Снова осторожно прогреваете поверхность и смываете флюс. Теперь можете начать пайку обычным образом.

### Пайка дюралюминия

Паять дюралюминий можно также паяльником со стальным жалом, нанося припой на дюралюминий. Спаиваемые поверхности следует предварительно зачистить и покрыть флюсом, предохраняющим металл от окисления. При этом в качестве флюса нужно использовать стеарин (<http://cxem.net/beginner/beginner22.php>).

Очень удобны в последнем случае паяльнички со съемными жалами. К комплекту съемных медных жал разной формы следует добавить и стальное — специально для пайки дюралюминия.

### **Лужение провода в эмалевой изоляции**

Для зачистки эмалированных проводов малого сечения можно использовать полихлорвиниловую трубку. Отрезок трубки кладут на дощечку и, прижимая провод к трубке плоскостью жала хорошо разогретого паяльника, легким усилием 2—3 раза протягивают провод. При этом одновременно происходит разрушение эмалевого покрытия и лужение провода. Применение канифоли при этом не обязательно. Вместо полихлорвиниловой трубки можно воспользоваться обрезками монтажного провода или кабеля в полихлорвиниловой изоляции.

### **Вместо припоя — клей**

Часто бывает необходимо припаять провод к детали, изготовленной из металла, трудно поддающегося пайке, например, нержавеющей стали, хрома, никеля, сплавов алюминия и др. В таких случаях для обеспечения надежного электрического и механического контакта можно использовать следующий способ.

Деталь в месте присоединения провода тщательно зачищается от грязи и оксидов и обезжиривается. Луженый конец провода обмакивают в клей БФ-2 и жалом нагретого паяльника прижимают к месту соединения в течение 5—6 с. После остывания на место контакта наносят 1—2 капли эпоксидного клея и сушат до полного затвердения.

### **Провод типа «литцендрат»**

Снимая изоляцию с проводов типа «литцендрат», необходимо быть очень осторожным. Если хотя бы одна из жил литцендрата окажется не зачищенной или даже не пропаянной, то добротность колебательного контура снизится во много раз (такие провода используются в основном для изготовления катушек индуктивности). Для зачистки литцендрата лучше всего предварительно обжечь изоляцию в пламени спиртовки или спички, не допуская при этом оплавления проволочек, а затем мягкой фланелевой тряпочкой, смоченной в спирте, или опустив конец провода в спирт, аккуратно снять обгоревшую изоляцию.

### **Лак для закраски паек**

После того как монтаж полностью завершен, места пайки для придания монтажу законченного красивого вида можно закрасить лаком.

Подходит для этих целей лак для ногтей. Но можно приготовить и специальный лак: в ацетоне или жидкости для снятия лака с ногтей растворяют очищенную от эмульсии фотопленку и добавляют в раствор несколько капель чернил для авторучек. Цвет изготовленного этим способом лака зависит от цвета и количества влитых в него чернил.

### **Защита переводных надписей**

При окончательной отделке своих конструкций многие радиолюбители пользуются переводным шрифтом. Однако надписи, выполненные таким шрифтом, недостаточно стойки, и их необходимо каким-то образом защитить.

Надежные результаты можно получить, если надпись сначала покрыть тонким слоем яичного белка, а через несколько часов сушки — уже бесцветным нитролаком. Покрытие можно выполнять мягкой кистью.

## **4.11. Радиолюбительские конструкции для регулировки температуры жала паяльника**

### **Для чего нужно поддерживать температуру жала паяльника**

Правильно установленная температура при пайке очень важна для обеспечения качественного паяного соединения. Многие радиолюбители, которые используют паяльники с питанием от сети, знают, как часто им приходится менять медное жало после частого выгорания.

Во время пайки мелких деталей на маленькие контактные площадки, контактные площадки и дорожки отслаиваются от перегрева их паяльником. Некоторые радиолюбители для пайки имеют несколько заточенных жал, которые, в зависимости от паяльных задач, приходится менять.

Как правило, жало для такого паяльника — это отрезки определенной длины медного провода диаметром 2—4 мм. Жало таких паяльников находится всегда на максимальном разогреве.

### **Простой способ регулировки температуры жала паяльника**

**Бороться с перегревом** у паяльника достаточно просто. Идем в магазин электротоваров (как правило, в тот же самый, где и поку-

пался этот паяльник) и покупаем небольшую (размером с обычный выключатель) коробочку светорегулятора. Ее еще очень часто называют иностранным словом **диммер**.

Еще нам понадобится сетевой провод с вилкой на конце и розетка для открытой проводки. На небольшую фанерку закрепляем диммер и розетку. Подключаем сетевой провод согласно инструкции для диммера.

В розетку мы будем включать наш паяльник, а светорегулятор у нас превратится в регулятор температуры паяльного жала. Можно воспользоваться термопарой, идущей в комплекте с дешевым китайским цифровым тестером, и маркером примерно отградуировать положения регулятора диммера в соответствии с температурой паяльника. Паять таким модифицированным паяльником становится намного удобнее, а дополнительные затраты не превысят 200 рублей.

### Самодельная паяльная станция

Рассмотрим устройство, напоминающее паяльную станцию, позволяющее регулировать температуру жала паяльника, чтобы пайка была удобной, а жало — долговечным.

В конструкции (рассмотренной на <http://transistor.3dn.ru>) использован паяльник от паяльной станции SL-30. Его характеристики следующие:

- ♦ напряжение питания — 24 В;
- ♦ потребляемая мощность — 48 Вт;
- ♦ нагреватель нихромовый, марка SL-H;
- ♦ датчик температуры (термопара) К-типа;
- ♦ напряжение утечки наконечника менее 2 мВ.

Так как данный паяльник работает только от переменного или постоянного напряжения 24 В, а датчик температуры позволят устанавливать желаемую температуру жала, было собрано устройство (**рис. 4.15**), позволяющее реализовать данную задачу. Схема основного блока устройства показана на **рис. 4.16**, а схема блока индикации температуры жала паяльника приведена на **рис. 4.17**.

На микросхеме DA3, резисторах R7—R9, R12 и R13 собран усилитель напряжения термопары. Надо обратить внимание на то, что «+» термопары подключается к резистору R8. Резистором R12 при регулировке устанавливается значение 0 °С, а резистором R13 — значение 100 °С. На микросхеме DA4.1 (1/2 LM358N), резисторах R4—R6, R10, R11, R14 и конденсаторе C8 собран узел установки задаваемой температуры жала

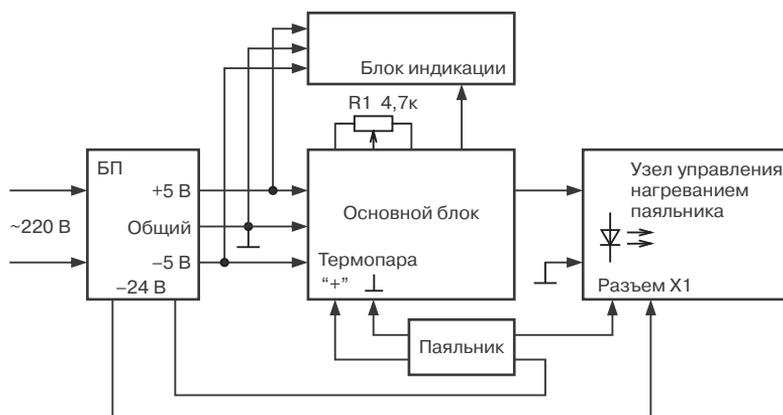


Рис. 4.15. Функциональная схема устройства

паяльника. Верхний и нижний диапазон установки температуры жала паяльника можно установить подбором резисторов R4 и R6.

На микросхеме DA4.2 (1/2-LM358N) собран компаратор. Компаратор — это своеобразный мостик между аналоговыми и цифровыми устройствами, служащий для сравнения двух уровней напряжения. На неинвертирующий вход 5 микросхемы подается заданное резистором R5 напряжение в милливольты, а на инвертирующий вход 6 микросхемы DA4.2 подается напряжение с выхода 6 усилителя напряжения термопары, тоже в милливольты.

Если напряжение на инвертирующем входе 6 меньше заданного напряжения на неинвертирующем входе 5, то на выходе микросхемы DA4.2 присутствует положительное напряжение, т. е. «1». Компараторы улавливают разницу в уровнях входных напряжений величиной в несколько десятков микровольт и менее.

С выхода 7 компаратора напряжение через резистор R18 подается на вход 7 микросхемы DA5. Эта микросхема — таймер KP1006BI1. На таймере собран генератор импульсов. Генератор применен для того, чтобы светодиод HL1 во время работы мигал с частотой, заданной генератором.

С выхода 3 микросхемы DA5 напряжение через резистор R21 и транзистор VT1 через светодиод HL1 подается на анод диода оптрона (МОС3063). Во время работы оптрона открывается симистор VS1 и паяльник, подключенный к гнездам разъема X1, начинает нагреваться.

**Наладка.** Налаживается устройство следующим образом. Проверяется напряжение на обмотке II трансформатора. Оно должно быть 24 В.

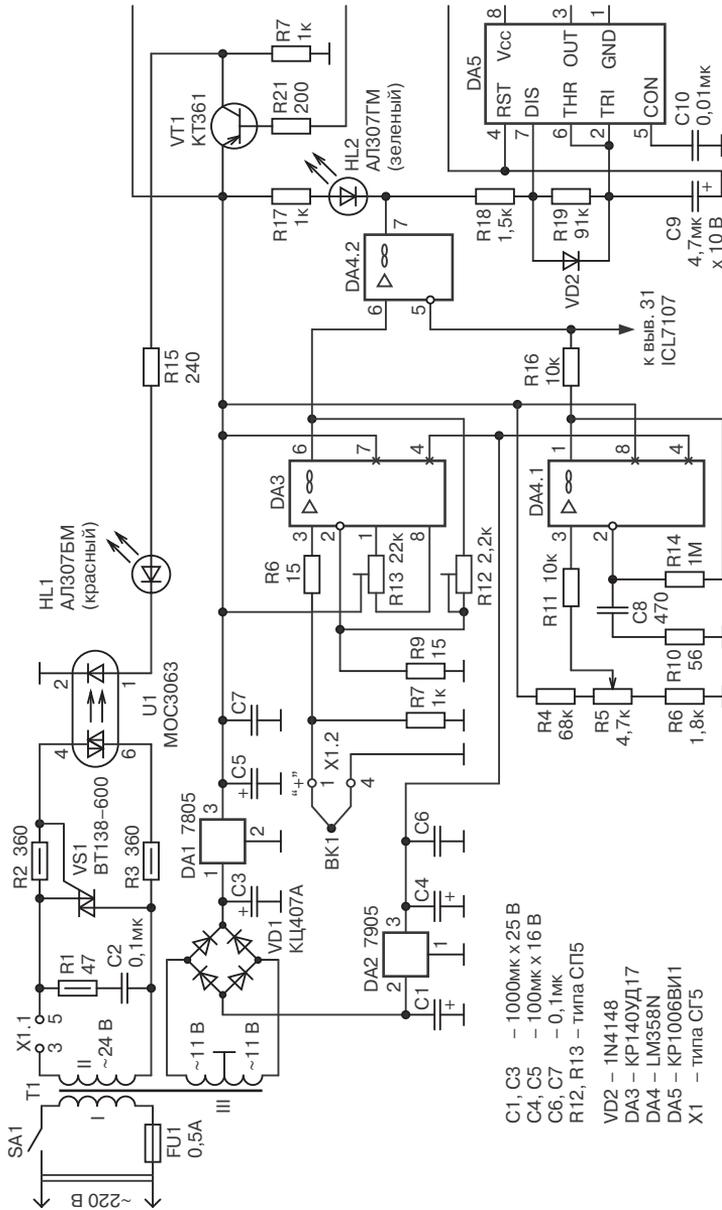


Рис. 4.16. Принципиальная схема основного блока

Затем проверяется напряжение на выходе С7 и С6. Оно должно быть +5 В и –5 В. В панельку вставляется микросхема DA3, все остальные панельки для DA4 и DA5 пусты.

Согласно схеме от паяльника подключается только термопара. К разъему X1 нагревательный элемент паяльника не подключается. К выходу 6 микросхемы DA3 подключается милливольтметр. Жало паяльника опускаем в лед. После того, как показания милливольтметра останутся, резистором R12 добиваются нулевых показаний милливольтметра. После этого жало паяльника помещаем в кипящую воду, не касаясь при этом корпусом паяльника емкости, где кипит вода. Резистором R13 выставляем показания милливольтметра 100. Процедуру по регулировке 0 и 100 мВ повторяют несколько раз, добиваясь точности показаний.

Иногда с китайскими цифровыми тестерами идет в комплекте термопара. С помощью такой термопары можно повысить точность настройки, хотя и предыдущая настройка достаточно точна для домашней паяльной станции. После такой настройки вставляют остальные микросхемы в панельки и проверяют работу всего устройства. При необходимости резисторами R4 и R6 устанавливают верхнюю и нижнюю границы задаваемой температуры жала паяльника. В данной конструкции диапазон задаваемой температуры нагрева паяльника 147—458 °С.

**Печатные платы.** Конструкция размещена на трех печатных платах. Эти печатные платы можно скачать с сайта <http://transistor.3dn.ru>. Для оптимизации объема они в книге не приводятся.

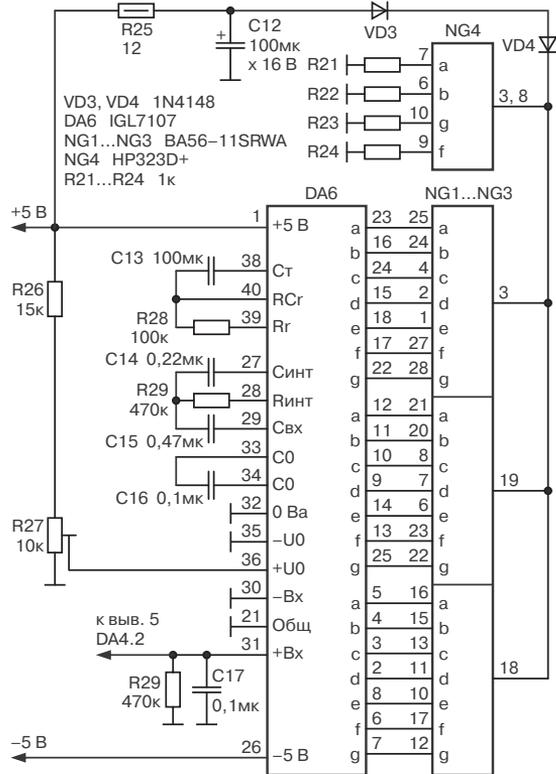


Рис. 4.17. Принципиальная схема блока индикации паяльника

Размеры плат: блока питания —  $70 \times 51$  мм; индикации температуры —  $80 \times 80$  мм; основного блока —  $105 \times 75$  мм.

Все платы сделаны с помощью «утюжной» технологии. При этом использовалась бумага-подложка от самоклеящейся пленки. Рисунки печатных проводников на сайте даны для «утюжной» технологии.

**Детали.** В конструкции применены постоянные резисторы с 5% разбросом параметров МЛТ-0,125, МЛТ-0,25 и МЛТ-0,5. Электролитические конденсаторы типа К50-6. Остальные конденсаторы можно применить любых типов.

Микросхемы DA3 можно заменить импортным аналогом OP-07, DA5 — импортным аналогом NE555. Микросхема DA1 располагается на небольшом радиаторе в виде пластины из дюралевого сплава. Микросхема DA2 — без радиатора. Симистор VS1 располагается на небольшом радиаторе. Переменный резистор R5 — СПЗ-46М. Подстроечные резисторы R12 и R13 типа СП5. Силовой трансформатор можно применить любой конструкции, но мощностью не ниже 50 Вт. Обмотка II силового трансформатора должна быть рассчитана на ток не ниже 2 А и напряжение 24 В.

### Простой регулятор температуры жала паяльника

Схема (рис. 4.18), которую представил в Интернете С. Грищенко (Воронеж) заинтересует многих радиолюбителей своей простотой. Подобная схема ранее публиковалась и в журнале «Радио» (1975, № 6, с. 53). Устройство позволяет регулировать мощность паяльника от половинной до максимальной. При указанных на схеме элементах мощность нагрузки не должна превышать 50 Вт, но в течение часа схема может перенести и нагрузку 100 Вт без особых последствий.

Принципиальная схема регулятора приведена на рис. 4.18. Если тиристор VD2 заместить на КУ201, а диод VD1 — на КД203В, мощность подключаемой нагрузки можно немало важно увеличить. Выходная мощность минимальна в крайнем левом (по схеме) положении движка R2. В моем варианте регулятор смонтирован в подставке настольной лампы методом навесного монтажа. При этом экономится одна сетевая розетка, которых вечно не хватает. Этот регулятор работает у С. Грищенко в течение многих лет без каких-либо нареканий.

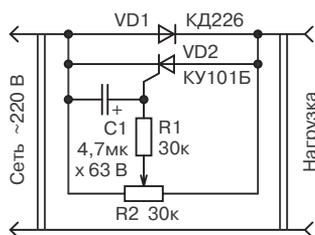


Рис. 4.18. Схема простого регулятора температуры жала паяльника

### Терморегулирующая приставка к паяльнику

При работе с паяльником нередко возникает необходимость подбирать оптимальную температуру нагрева его жала. Это можно сделать с помощью приставки, предложенной А. Тычининым (г. Кузнецк Пензенской обл.). Приставка позволяет получить на нагрузке четыре разных напряжения.

В показанном на схеме (рис. 4.19) положении паяльник питается однополупериодным напряжением, поэтому температура нагрева жала минимальна.

Когда выключатель S1 стоит в положении замкнутых контактов, температура жала возрастает, поскольку паяльник теперь питается двухполупериодным напряжением. Если же, наоборот, контакты переключателя S1 — разомкнуты, а S2 — замкнуты, температура жала еще больше — ведь паяльник теперь питается пульсирующим напряжением от однополупериодного выпрямителя с конденсатором фильтра.

Для дальнейшего повышения температуры надо замкнуть контакты обоих выключателей — получится двухполупериодный выпрямитель с фильтрующим конденсатором.

Данные деталей приведены для паяльника мощностью 40 Вт. В случае применения паяльника иной мощности надобно соответственно изменить емкость конденсатора и подобрать диоды с другим значением выпрямленного тока.

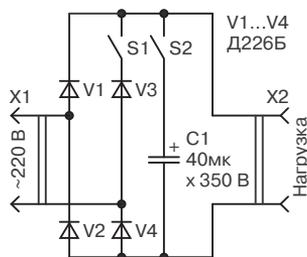


Рис. 4.19. Схема терморегулирующей приставки

### Сенсорное выключение паяльника

Как известно, при работе с полевыми транзисторами и микросхемами структуры КМОП часто возникает проблема, связанная с высоким потенциалом жала паяльника, питаемого от промышленной сети напряжения. Связанно это с тем, что полевые транзисторы и микросхемы, построенные по технологии КМОП, очень чувствительны к электрическим полям. Наиболее опасными являются электрические поля, возникающие в результате сетевых наводок при питании паяльника переменным напряжением 220 В. Под действием таких полей деталь может выйти из строя даже при кратковременном касании ее вывода жалом включенного паяльника.

В радиолюбительской литературе встречаются описания приемов борьбы с этим негативным явлением, которые обычно сводятся к понижению напряжения питания паяльника до 12—40 В или переделке самого паяльника. Все эти операции относительно трудоемки и все равно не дают полной защиты от пробоя детали.

Однако проблема может быть решена иначе (пишет Олег на <http://revolution.allbest.ru/>). Ведь для того, чтобы полностью устранить влияние высоковольтных наводок достаточно просто на время пайки вывода микросхемы отключать паяльник от сети. Время пайки каждого вывода любой микросхемы или транзистора должно быть как можно меньшим, поэтому за время пайки даже нескольких выводов жало отключенного от сети паяльника просто не успевает остывать настолько, чтобы нельзя было осуществить качественную пайку. Естественно, на время когда жало опускается в канифоль, на него берется припой или просто паяльник кладется на подставку нужно не забывать включать его в сеть.

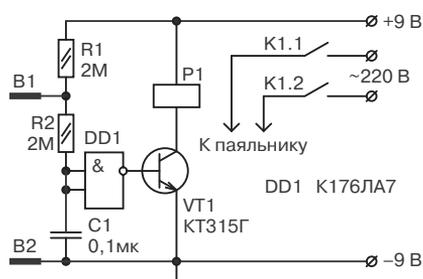


Рис. 4.20. Схема, обеспечивающая сенсорное выключение паяльника

На рис. 4.20 показана принципиальная схема устройства, позволяющего автоматизировать процесс включения/отключения паяльника на время пайки. Коммутация цепи нагревательного элемента осуществляется при помощи нормально замкнутых контактов электромагнитного реле P1.

Управляется реле при помощи сенсорного датчика B1, B2. В исходном состоянии на входах логического элемента DD1 присутствует потенциал высокого логического уровня, а на его выходе — потенциал низкого уровня. Транзистор при этом заперт, и обмотка реле обесточена, а паяльник включен в сеть. Если коснуться пальцем электродов B1 и B2, то сопротивление между ними уменьшится, и на входе инвертора DD1 выделится потенциал низкого логического уровня, а на базе транзистора появится высокий потенциал. Транзистор откроется, реле включится, и его контакты разомкнут цепь нагревательного элемента паяльника. Конденсатор C1 и резистор R2 образуют фильтр, устраняющий влияние на схему сетевых наводок.

В качестве сенсора можно использовать два отрезка хорошо залуженной медной проволоки диаметром около 0,5 мм и длиной 5—7 мм,

которые крепятся на рукоятке паяльника в удобном месте на расстоянии около 3 мм друг от друга. Способ крепления произволен и зависит от конструкции ручки паяльника. Плата устройства размещается отдельно в пластмассовом корпусе, сенсор соединяется с платой при помощи экранированного провода. При этом оплетку провода следует соединить с общим проводом схемы. Чтобы провод не мешал при пайке, его можно обмотать «змейкой» вокруг рукоятки паяльника, закрепив у ее конца изолентой.

В качестве электромагнитного реле может быть использовано любое реле, надежно срабатывающее при напряжении 9 В (например, РЭС-37). Вместо указанной на схеме микросхемы К176ЛА7 можно использовать любую другую микросхему структуры КМОП, на базе которой можно построить инвертор.

### Простейший переключатель мощности паяльника

По сравнению с диодом переменный резистор и не проще, и не надежнее. Но паяльник с диодом слабоват, а резистор позволяет работать без перекала и без недокала. Где взять мощный, подходящий по сопротивлению переменный резистор? Проще найти постоянный, а выключатель, применяемый в «классической» схеме, сменить на трехпозиционный (см. рис. 4.21).

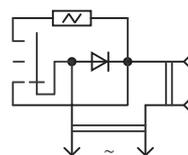


Рис. 4.21. Схема простейшего переключателя мощности паяльника

### Регулятор мощности паяльника на трех деталях

Повысить КПД регулятора можно включением диода (рис. 4.22), предлагает Ю. Бородатый (Ивано-Франковская обл.). При этом достигается более удобный предел регулирования (50—100%). Полупроводниковые приборы можно разместить на одном радиаторе.

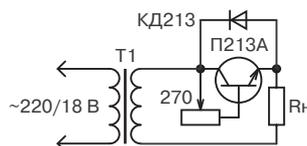


Рис. 4.22. Схема регулятора мощности на трех деталях

### Ступенчатый регулятор напряжения для питания паяльника

Вряд ли надобно объяснять конструктору аппаратуры, что качественную пайку можно получить лишь в узком температурном диапазоне жала паяльника. Кроме того, пластмассовые ручки современных паяльников при их перегреве нередко плавятся, от чего кожух паяльника сначала разбалтывается, а потом вообще выпадает из ручки, грозя «соответствующими бедами». Существуют различные способы ограничения температуры паяльника:

- ♦ пассивные — включение последовательно с паяльником лампы накаливания, мощного резистора или диода;
- ♦ активные — питание паяльника через регулятор мощности (напряжения) на тиристорах, мощных транзисторах и т.п.

Предлагаемый *В. Бесединым* (UA9LAQ, г. Тюмень) ступенчатый регулятор напряжения для питания паяльника не претендует на оригинальность, но позволяет простыми средствами подобрать нужную температуру жала и осуществлять его дежурное питание в паузе между пайками. Принцип работы устройства (рис. 4.23) основан на однополупериодном выпрямлении переменного напряжения с последующим увеличением постоянного напряжения на «накопительных» конденсаторах сглаживающего фильтра.

В исходном состоянии паяльник, подсоединенный к устройству, выключен, поскольку переключатель SA1 пребывает в среднем (нейтральном) положении. Для быстрого прогрева паяльника переключатель SA1 переводят в верхнее по схеме положение, т.е. включают паяльник непосредственно в сеть. Затем SA1 переводят в нижнее положение, и питание паяльника производится только от положительных полуволн переменного напряжения (дежурный режим). До рабочей температуры из этого положения паяльник разогревается за десяток секунд после включения тумблеров SA2 и SA3.

Пайку малогабаритных деталей осуществляют при включенном (замкнутом) SA2 и выключенном SA3. Более массивные детали паяют при включенном SA3 и выключенном SA2. Для пайки еще более круп-

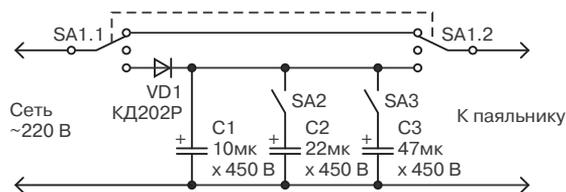


Рис. 4.23. Схема ступенчатого регулятора напряжения для питания паяльника

ных деталей замыкают оба тумблера — SA2 и SA3. Напряжение на паяльнике составляет:

- ♦ без конденсатора C1 — 110 В;
- ♦ с конденсатором C1 — 130...140 В;
- ♦ при включенном SA2 — 140...160 В;
- ♦ при включенном SA3 — 160...180 В;
- ♦ при включенных SA2 и SA3 — 180...200 В.

Эти напряжения зависят как от мощности применяемого паяльника, так и от фактической емкости конденсаторов C1 — C3 и напряжения в сети. При недостаточном напряжении (например, при сильно перегруженной сети) вместо одного диода устанавливают диодный мост, а после него — набор конденсаторов.

В устройстве можно применять диоды, рассчитанные на обратное напряжение не ниже 400 В и ток 3 А, конденсаторы — с рабочим напряжением 350—450 В. В качестве SA1 применен тумблер П2Т-2 со средним нейтральным положением. Можно применить и обычный галетный переключатель на три положения. SA2 и SA3 — обычные однополюсные тумблеры, например, ТВ2-1. Количество переключаемых конденсаторов можно увеличить, чтобы комбинацией их включения точнее выставлялась температура жала.

## 4.12. Полезные конструкции для эффективной пайки

### Изготовление низковольтного паяльника из высоковольтного

Низковольтный паяльник можно изготовить из перегоревшего обычного паяльника мощностью 40—90 Вт. Нагреватель паяльника разбирают и, удалив старую обмотку, наматывают на ее место новую, закрепляют витки и собирают паяльник.



#### **Это интересно знать.**

*Витки следует располагать в один слой равномерно по всей длине, которую занимала прежняя обмотка.*

Для обмотки нагревателя удобно использовать нихромовый провод диаметром 0,4 мм от спирали электроплиток на 220 В. В табл. 4.2

приведены числа витков нагревателя, экспериментально подобранные для паяльников из нихромового провода диаметром 0,4 мм мощностью 50 или 100 Вт на различные питающие напряжения.

Данные для перемотки

Таблица 4.2

Напряжение питания, В	Число витков на 50 Вт	Число витков на 100 Вт
12	6—7	7 витков двойным
24	19—20	10—12
36	19—20	24—36

### Как включить низковольтный паяльник в сеть 220 В

Можно, конечно, включить его последовательно с лампой накаливания или резистором большой мощности, но это не всегда удобно и неэкономично. Лучше всего подключить паяльник к сети через бумажный конденсатор, емкость которого можно рассчитать по формуле:

$$C = 3000P/U_n(U - U_n),$$

где  $C$  — емкость конденсатора, мкФ;

$P$  — мощность паяльника, Вт;

$U_n$  — напряжение, на которое рассчитан паяльник, В;

$U = 220$  В — напряжение сети.

При этом бумажный конденсатор должен иметь рабочее напряжение не менее 400 В, а мощность паяльника должна быть в пределах 40—50 Вт.

### Автомат выключения паяльника

В радиолюбительской практике часто встречаешься с проблемой включенного паяльника, оставленного без наблюдения радиолюбителем. Причиной может послужить длинный телефонный разговор, телевизионная передача, звонок в дверь и т. п. Отойдешь вроде бы на минутку, а смотришь — прошел час, другой.

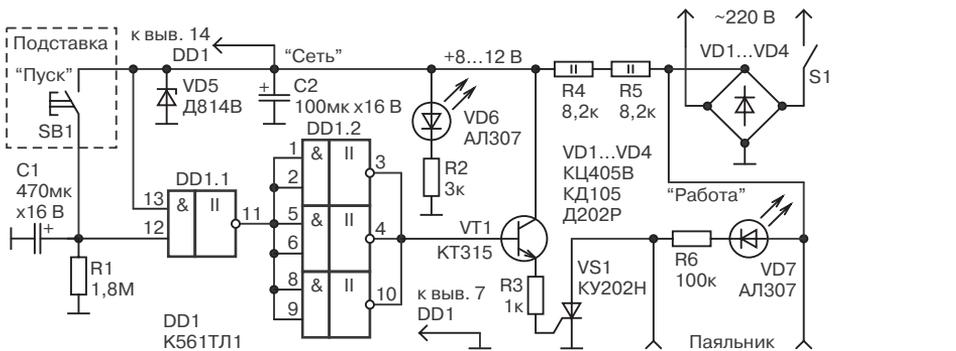
Поэтому полезна схема автомата, который отключает паяльник через заданное время. Такое интересное устройство очень помогает забывчивым радиолюбителям. Его разработал *Г. Шанно*, г. Витебск (Радиолюбитель — №3 — 1998)

Принципиальная схема автомата показана на рис. 4.24, а. Основной устройством является реле времени, собранное на четырех триггерах Шмитта (ИМС К561ТЛ1).

Стабилизатор напряжения собран на элементах R4, R5, C2 и VD5, выходное напряжение которого составляет 8—12 В.

Работает автомат следующим образом. Кнопка «Пуск» SB1 расположена на подставке (рис. 4.24, б). При поднятом паяльнике замкнутые контакты SB1 запрещают работу реле. Но как только паяльник оказывается на подставке, контакты кнопки размыкаются, и начинается отсчет времени. Величина выдержки времени зависит от емкости C1 и сопротивления R1. В данном случае она составляет около 20 мин. Все это время паяльник работает. Как только иссякает запас времени, паяльник отключается. Во время работы с паяльником, т. е. при каждом поднятии его с подставки реле времени сбрасывается, и отсчет начинается заново.

В качестве SB1 использован микропереключатель МП22. Тяжести малогабаритного паяльника может оказаться мало для нажатия на «микрик». Поэтому из него удаляют возвратную пружину и, изгибая вторую пружину, устанавливают необходимую чувствительность. После такой доработки «микрик» у меня срабатывал даже от 25-ваттного паяльника.



а



Рис. 4.24. Автомат выключения паяльника:  
а — принципиальная схема;  
б — элемент конструкции подставки

## ПОЛЕЗНЫЕ РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ САМОДЕЛКИ

*В главе рассматриваются простые электронные схемы для начинающих радиолюбителей. Содержание главы построено по принципу «от простого к сложному». Предложенные электронные схемы доступны для реализации людям любого уровня подготовки. Материал главы базируется на теории, рассмотренной в предыдущих главах.*

### 5.1. Изготовление печатных плат с помощью компьютера

Начнем рассказ о популярной «лазерно-утюжной» технологии изготовления печатных плат, ее особенностях и нюансах.

Печатные платы в радиотехнике применяются давно. В условиях производства существует различное оборудование, позволяющее выпускать платы в массовом масштабе. Подобные платы раньше выпускались методами офсетной печати, почему и получили название «печатных».

В домашних условиях или в заводских электролабораториях, занимающихся ремонтом электрооборудования, подобные платы приходилось рисовать вручную различными лаками. Инструменты для рисования применялись самые разнообразные, от просто остро заточенной спички до иголок от шприца и стеклянных рейсфедеров.

Производительность подобного труда была низкая, да и качество оставляло желать лучшего. Если же требовалось изготовить несколько одинаковых плат, то уже вторая рисовалась без особого вдохновения, да и следующие за ней оптимизма не прибавляли.

Сейчас компьютерные технологии проникли во все сферы человеческой деятельности, в том числе и в радиолюбительство. Печатные платы

рисовать вручную теперь уже не приходится, разве что очень простые, которые можно даже вырезать ножом. Но обо всем по порядку.

Прежде всего, печатную плату необходимо спроектировать согласно принципиальной электрической схеме. Подобная работа выполняется на компьютере при помощи специальных программ. Наиболее просты и доступны программы Sprint-Layout. Они бесплатны, и их можно скачивать в Интернете. Их интерфейс интуитивно понятен, а пользование программой затруднений не вызывает.

В версиях программ, начиная с третьей, возможна вставка рисунка и просто его обведение линиями печатных дорожек. Эта функция позволяет изготавливать платы, опубликованные на страницах журналов. Картинка из журнала, если ее просто распечатать, требуемого качества, как правило, не дает.

После того, как печатная плата спроектирована и проверена, ее следует перенести на заготовку будущей печатной платы. И именно на этом этапе следует проявить внимательность и аккуратность.

Прежде всего, следует рассказать, как печатать и на чем. Это два основных вопроса, от решения которых зависит конечный результат.

Рисунок платы печатается на лазерном принтере при отключении всех экономных режимов, что позволяет нанести на бумагу максимально толстый слой тонера. Это способствует улучшению переноса тонера на заготовку печатной платы. Сейчас подобная технология называется «лазерно-утюжной».

Общий смысл ее достаточно прост: рисунок помещается на заготовку (фольгированный стеклотекстолит), рисунком к фольге. После чего проглаживается обычным утюгом. Тонер, расплавляясь, переносится на фольгу, оставляя на ней рисунок платы. После этого бумага

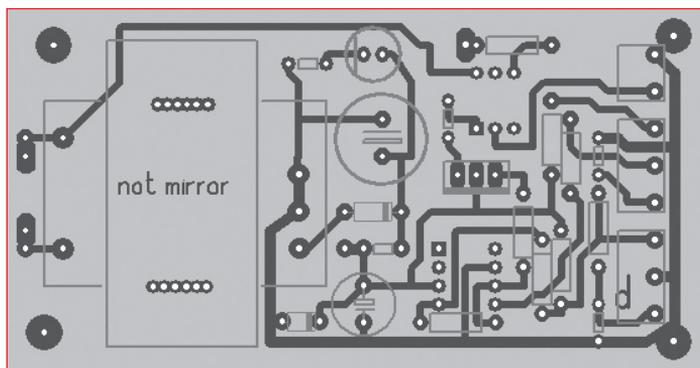


Рис. 5.1. Пример печатной платы

размачивается в воде, а плата травится как обычно в растворе хлорного железа.

На рис. 5.1. показан пример печатной платы.

Теперь о тонкостях и деталях всего процесса.

Прежде всего, **на чем печатать?** Когда эта технология была известна только по слухам, считалось, что печатать рисунок надо на бумаге самого низкого качества. Такая бумага, тонкая и бурая, предназначалась для пишущих машинок. Отмочить эту бумагу было просто невозможно, поэтому предлагалось сначала растворять ее, кажется, соляной кислотой. Бумага растворялась плохо, а вместе с ней и часть рисунка.

Тогда большинство исследователей, видимо, печатали подобные картинки на государственных принтерах, поэтому были предложения делать распечатки даже на бытовой алюминиевой фольге, каких-то пленках и еще не помню на чем.



#### Совет.

*На самом деле все оказалось значительно проще: лучше всего подходит мелованная бумага из гляцевых журналов. При этом рисунки и фотографии на страницах на качество не влияют. Единственное, что следует опытным путем подобрать журнал, дающий лучшее качество.*

Некоторые журналы намелованы до такой степени, что приглаживаются к фольге даже без тонера.

Границы платы на распечатке лучше указать при помощи «крестов», (такая опция присутствует в программе), нежели в рамке. Рамка может потянуть за собой бумагу в процессе приглаживания и исказить рисунок.

Бывает, рисунок приглаживается хорошо не с первого раза, поэтому на одном листе бумаги надо отпечатать несколько его экземпляров. Количество рисунков на листе устанавливается в программе.



#### Это интересно знать.

*Заготовку для платы следует вырезать не ровно в размер, а так, чтобы по краям оставался запас 6—10 мм.*

Он срезается уже после того, как плата будет готова. Это необходимо для того, чтобы крайние дорожки рисунка получились хорошо. Не понятно почему, но именно эти дорожки приглаживаются плохо. Поэтому острые края фольги следует притупить, сняв небольшие фаски.

Перед тем, как приглаживать рисунок утюгом, заготовку следует зачистить наждачной бумагой так, чтобы поверхность фольги приобрела матовый оттенок. После этого поверхность обезжирить ацетоном или бензином.

Затем положить бумагу рисунком вверх на ровную поверхность, и уже на нее фольгой вниз, ориентируя по крестам, заготовку платы. Для фиксации заготовки края бумаги подогнуть вовнутрь получившегося пакета. При приглаживании пакет положить, естественно, бумагой вверх.

Обычный утюг для глажения белья следует разогреть до **200 градусов**. Температуру можно проконтролировать с помощью термометра, либо подбирать опытным путем.

Приглаживание производить сначала всей плоскостью утюга для разогрева платы, а ближе к концу процесса приглаживать бумагу ребром утюга. Чтобы мелованная бумага не прилипла к утюгу в начале приглаживания можно под утюг положить обычную чистую бумагу. Под приглаживаемую заготовку лучше подложить картонную папку для бумаг или журнал. Это позволит плате несколько прогнуться, что исключит влияние неровностей, как самой платы, так и рабочего стола.

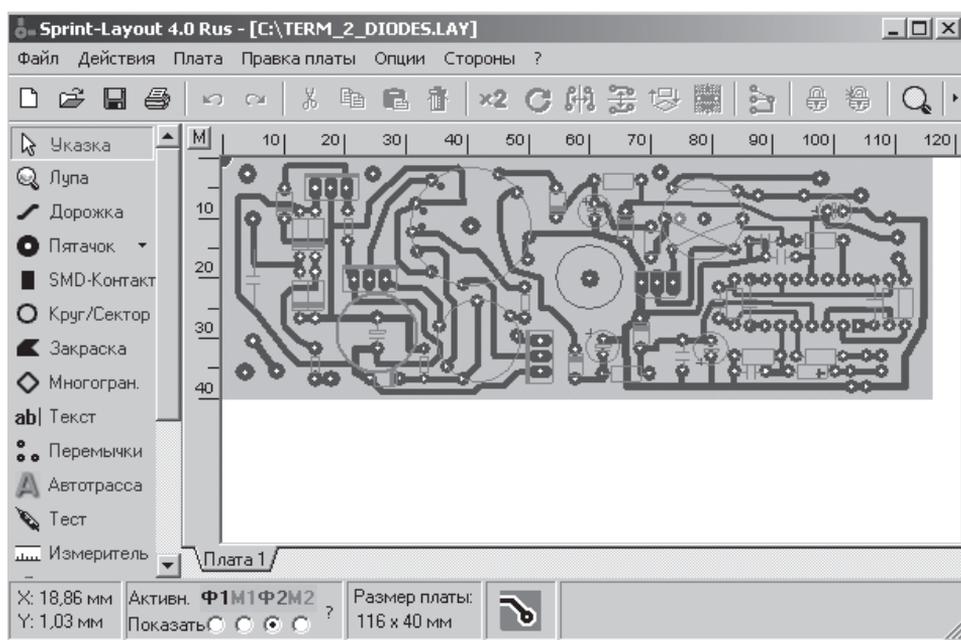


Рис. 5.2. Скриншот программы Sprint-Layout

После приглаживания весь пакет следует остудить, прикладывая другой утюг, только холодный, чтобы рисунок лучше зафиксировался на плате.

После этих процедур приглаженную бумагу следует отмочить в теплой 50—60 градусов воде. Когда бумага достаточно размокнет, ее следует осторожно снять. Остатки бумаги, прилипшие к плате, удалить, протирая пальцем, как переводные картинки.

После того, как будет получен оттиск хорошего качества, заготовку следует, как обычно, протравить в растворе хлорного железа. После травления рисунок удаляется ацетоном или бензином.

Программа Sprint-Layout позволяет нарисовать в контактных площадках отверстия для деталей (скриншот программы смотрите на рис. 5.2). Эти отверстия следует делать диаметром не менее 0,7—0,8 мм. Тогда фольга в них протравится до текстолита и не потребуются кернить отверстия: сверло будет центроваться в этих протравленных отверстиях. Точность сверления такова, что даже микросхемы в 40 выводных корпусах «салятся» на свои места безо всякого подгибания ножек.

## 5.2. Логические микросхемы: от теории к практике

### Внешний вид и конструктивное исполнение

В третьей главе книги было рассказано об условных графических обозначениях логических элементов и о функциях выполняемых этими элементами. Для объяснения принципа работы были приведены контактные схемы, выполняющие логические функции И, ИЛИ, НЕ и И-НЕ. Теперь можно приступить к практическому знакомству с микросхемами серии K155.

Базовым элементом 155-й серии считается микросхема K155ЛА3. Внешний вид этой микросхемы показан на рис. 5.3. Она представляет собой пластмассовый корпус с 14-ю выводами, на верхней стороне которого нанесена маркировка и ключ, обозначающий первый вывод микросхемы.



Рис. 5.3. Внешний вид микросхемы K155ЛА3

Ключ представляет собой небольшую круглую метку. Если смотреть на микросхему сверху (со стороны корпуса), то отсчет выводов следует вести против часовой стрелки, а если снизу, то по часовой стрелке.

Чертеж корпуса микросхемы показан на рис. 5.4. Такой корпус называется DIP-14, что в переводе с английского означает пластмассовый корпус с двухрядным расположением выводов. Многие микросхемы имеют большее число выводов и поэтому корпуса могут быть DIP-16, DIP-20, DIP-24 и даже DIP-40.

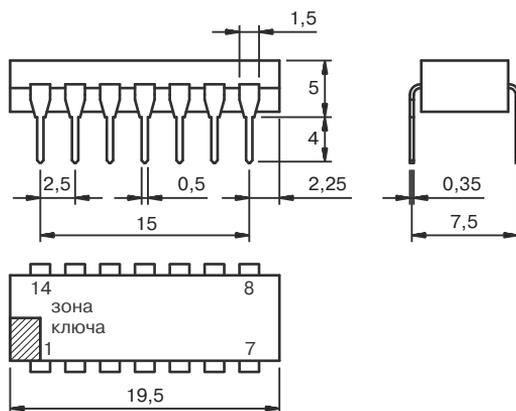


Рис. 5.4. Корпус DIP-14

### Что содержится в корпусе DIP-14

В корпусе DIP-14 микросхемы К155ЛА3 содержится 4 независимых друг от друга элемента 2И-НЕ. Единственное, что их объединяет, это лишь общие выводы питания:

- ♦ 14-й вывод микросхемы является + источника питания;
- ♦ вывод 7 — отрицательный полюс источника.

Чтобы не загромождать схемы лишними элементами, линии питания, как правило, не показываются. Не делается это еще и потому, что каждый из четырех элементов 2И-НЕ может находиться в разных местах схемы. Обычно на схемах просто пишут:

«+5 В подвести к выводам 14 DD1, DD2, DD3—DDN.

–5 В подвести к выводам 07 DD1, DD2, DD3—DDN».

Отдельно расположенные элементы обозначаются как DD1.1, DD1.2, DD1.3, DD1.4. На рис. 5.5. показано, что микросхема К155ЛА3 состоит из четырех элементов 2И-НЕ. Слева расположены входные выводы, справа — выходы.

Зарубежным аналогом К155ЛА3 является микросхема SN7400, и ее смело можно использовать для всех описанных ниже экспериментов. Если сказать точнее, то вся серия микросхем К155 является аналогом зарубежной серии SN74, поэтому продавцы на радиорынках предлагают именно ее.

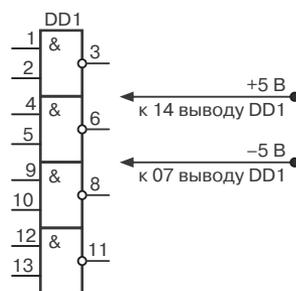


Рис. 5.5. Цоколевка микросхемы К155ЛА3

Для проведения опытов с микросхемой понадобится источник питания на напряжение 5 В. Проще всего такой источник сделать, применив микросхему стабилизатора К142ЕН5А или ее импортный вариант, который называется 7805. При этом вовсе необязательно мотать трансформатор, паять мостик, ставить конденсаторы. Ведь всегда найдется какой-нибудь китайский сетевой адаптер с напряжением 12 В, к которому достаточно подсоединить 7805, как показано на рис. 5.6.

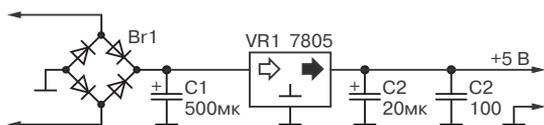


Рис. 5.6. Простой источник питания для опытов

Для проведения опытов с микросхемой понадобится сделать небольших размеров макетную плату. Она представляет собой кусок

гетинакса, стеклотекстолита или другого похожего изоляционного материала размерами 100 × 70 мм. Подойдет для подобных целей даже простая фанера или плотный картон.

Вдоль длинных сторон платы следует укрепить облуженные проводники толщиной около 1,5 мм, через которые к микросхемам будет подаваться питание (шины питания). Между проводниками по всей площади макетной платы следует просверлить отверстия диаметром не более 1 мм.

При проведении опытов в них будет можно вставлять отрезки луженого провода, к которым будут припаиваться конденсаторы, резисторы и прочие радиодетали. По углам платы следует сделать невысокие ножки, это даст возможность размещать провода снизу. Конструкция макетной платы показана на рис. 5.7.

После того, как макетная плата будет готова, можно приступить к опытам. Для этого на ней следует установить хотя бы одну микросхему К155ЛА3:

- ♦ выводы 14 и 7 припаять к шинам питания;
- ♦ остальные выводы согнуть так, чтобы они прилегали к плате.

Прежде, чем начинать опыты, следует проверить надежность пайки, правильность подключения питающего напряжения (подключение напряжения питания в обратной полярности может вывести микросхему из строя), а также проверить, нет ли замыкания между соседними выводами. После этой проверки можно включать питание и приступать к опытам.

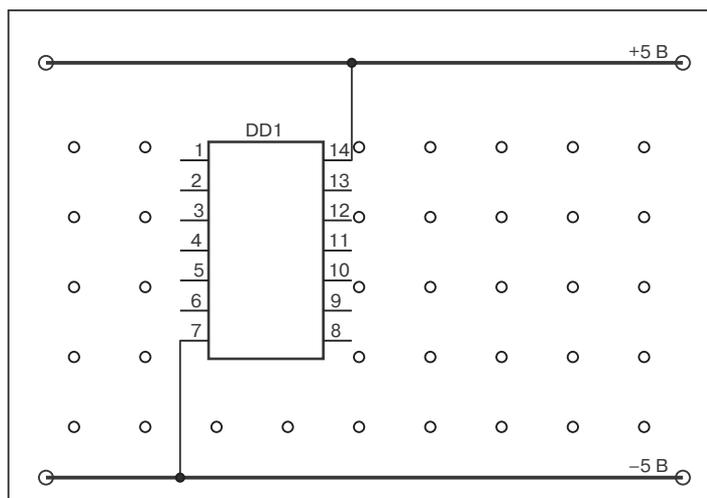


Рис. 5.7. Макетная плата

Для проведения измерений лучше всего подойдет стрелочный вольтметр, входное сопротивление которого не менее 10 кОм/В. Такому требованию вполне удовлетворяет любой тестер, даже дешевый китайский. Почему лучше стрелочный? Потому, что, наблюдая за колебаниями стрелки, можно заметить импульсы напряжения, конечно достаточно низкой частоты. Цифровой мультиметр такой способностью не обладает.



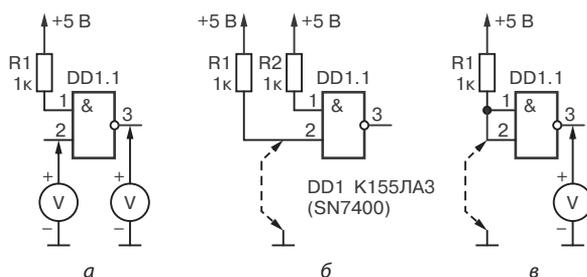
#### Будьте осторожны.

*Все измерения должны проводиться относительно «минуса» источника питания.*

После того, как питание включено, померяйте напряжение на всех выводах микросхемы: на входных выводах 1 и 2, 4 и 5, 9 и 10, 12 и 13 напряжение должно быть 1,4 В. А на выходных выводах 3, 6, 8, 11 — около 0,3 В. Если все напряжения находятся в указанных пределах, то микросхема исправна.

Проверку работы логического элемента 2И-НЕ можно начать, например, с первого элемента. Его входные выводы — 1 и 2, а выход — 3.

Для того чтобы подать на вход логического нуля, достаточно этот вход просто подсоединить к минусовому (общему) проводу источника питания. Если же на вход требуется подать логическую



**Рис. 5.8.** Простые опыты с логическим элементом:  
*а* — на вход 1 подана логическая единица, на вход 2 подан логический ноль;  
*б* — на оба входа подана единица; *в* — элемент 2И-НЕ превращается в инвертор

единицу, то этот вход следует подключить к шине + 5 В, но не напрямую, а через ограничительный резистор сопротивлением 1—1,5 кОм.

Предположим, что мы соединили вход 2 с общим проводом, тем самым подав на него логический ноль, а, как только что было указано через ограничительный резистор R1.

Это соединение показано на рис. 5.8, а. Если при таком подключении измерить напряжение на выходе элемента, то вольтметр покажет 3,5—4,5 В, что соответствует логической единице. Логическую же единицу даст измерение напряжения на выводе 1.



#### Сделаем вывод.

По результатам проведенных измерений можно сделать следующий вывод: когда на одном из входов элемента 2И-НЕ — высокий уровень, а на другом — низкий, на выходе обязательно присутствует высокий уровень.

Далее продедем следующий опыт — подадим единицу на оба входа сразу, как указано на рис. 5.8, б, но один из входов, например, на вход 2, соединим с общим проводом с помощью проволочной перемычки. (Для подобных целей лучше всего использовать обычную швейную иглу, припаянную на гибкий проводок). Если сейчас померить напряжение на выходе элемента, то, как и в предыдущем случае, там будет логическая единица.

Не прерывая измерения, уберем проволочную перемычку, — вольтметр покажет высокий уровень на выходе элемента. Это полностью соответствует логике работы элемента 2И-НЕ.

Если теперь этой перемычкой замыкать периодически на общий провод любой из входов, имитируя подачу низкого и высокого уровня,

то с помощью вольтметра на выходе можно обнаружить импульсы напряжения — стрелка будет колебаться в такт касаниям перемычкой входа микросхемы.

Из проведенных опытов можно сделать следующие **выводы**:

- ♦ напряжение низкого уровня на выходе появится лишь в том случае, когда на обоих входах присутствует высокий уровень, то есть по входам выполняется условие 2И;
- ♦ если хоть на одном из входов присутствует логический ноль, на выходе имеется логическая единица, можно повторить, что логика работы микросхемы полностью соответствует логике работы контактной схемы 2И-НЕ.

Вот тут уместно проделать еще один опыт. Смысл его в том, чтобы отключить все входные выводы, просто оставить их в «воздухе» и померить выходное напряжение элемента. Что там будет? Правильно, там будет напряжение логического нуля. Это говорит о том, что неподключенные входы логических элементов эквивалентны входам с поданной на них логической единицей.



**Это интересно знать.**

*Об этой особенности забывать не следует, хотя неиспользуемые входы, как правило, рекомендуется куда-нибудь подключать.*

На рис. 5.8, в показано как логический элемент 2И-НЕ можно превратить просто в инвертор. Для этого достаточно соединить вместе оба его входа. Даже если входов будет четыре или восемь, подобное соединение вполне допустимо.

Чтобы убедиться в том, что сигнал на выходе имеет значение противоположное сигналу на входе, достаточно входы с помощью проволочной перемычки соединить с общим проводом, то есть подать на вход логический ноль. При этом вольтметр, присоединенный к выходу элемента, покажет логическую единицу. Если же перемычку разомкнуть, то на выходе появится напряжение низкого уровня, что как раз противоположно входному.

Этот опыт говорит о том, что работа инвертора полностью эквивалентна работе контактной схемы НЕ. Таковы в целом чудесные свойства микросхемы 2И-НЕ.

## 5.3. Примеры практического применения микросхемы К155ЛА3

### Схемы мультивибратора

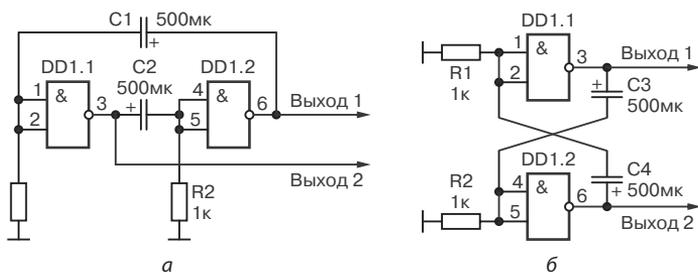
После знакомства с микросхемой К155ЛА3 попробуем разобраться с примерами ее практического применения.

Казалось бы, что можно сделать из одной микросхемы? Конечно, ничего выдающегося. Однако попробовать собрать какой-либо функциональный узел на ее основе следует попробовать. Это поможет наглядно разобраться с принципом его работы и настройки. Одним из таких узлов, достаточно часто применяющимся на практике, является автоколебательный мультивибратор.

Схема мультивибратора показана на **рис. 5.9, а**. Эта схема по внешнему виду очень похожа на классическую схему мультивибратора на транзисторах. Только здесь в качестве активных элементов применены логические элементы микросхемы, включенные инверторами. Для этого входные выводы микросхемы соединены вместе. Конденсаторы С1 и С2 образуют две цепи положительной обратной связи. Одна цепь это вход элемента DD1.1 — конденсатор С1 — выход элемента DD1.2. Другая с входа элемента DD1.2 через конденсатор С2 на выход элемента DD1.1.

Благодаря этим связям схема самовозбуждается, что приводит к генерированию импульсов. Период следования импульсов зависит от номиналов конденсаторов в цепях обратной связи, а также сопротивления резисторов R1 и R2.

На **рис. 5.9, б** та же самая схема нарисована таким образом, что еще более похожа на классический вариант мультивибратора на транзисторах.



**Рис. 5.9.** Автоколебательный мультивибратор:

*а* — типовая принципиальная схема; *б* — классический вариант схемы

## Электрические импульсы и их характеристики

До сих пор при знакомстве с микросхемой мы имели дело с постоянным током, ведь входные сигналы в процессе опытов подавались вручную с помощью проволочной перемычки. В результате чего на выходе схемы получалось постоянное напряжение низкого или высокого уровня. Такой сигнал носил случайный характер.

В собранной нами схеме мультивибратора напряжение на выходе будет импульсным, то есть меняющимся с определенной частотой скачкообразно от низкого уровня к высокому и обратно. Такой сигнал в радиотехнике называют **импульсной последовательностью** или просто **последовательностью импульсов**. На рис. 5.10 показаны некоторые разновидности электрических импульсов и их параметры.



### Это полезно запомнить.

Участки импульсной последовательности, на которых напряжение принимает высокий уровень, принято называть **импульсами высокого уровня**, а напряжение низкого уровня — это есть **паузы** между импульсами высокого уровня.

Хотя на самом деле все относительно: можно считать, что импульсы имеют низкий уровень, которым и будет включаться, например, какое-либо исполнительное устройство. Тогда паузой между импульсами будет считаться как раз высокий уровень.

Одним из частных случаев формы импульсов является **меандр**. В этом случае длительность импульса равна длительности паузы. Для оценки соотношения длительности импульса пользуются параметром, который называется **скважностью**.

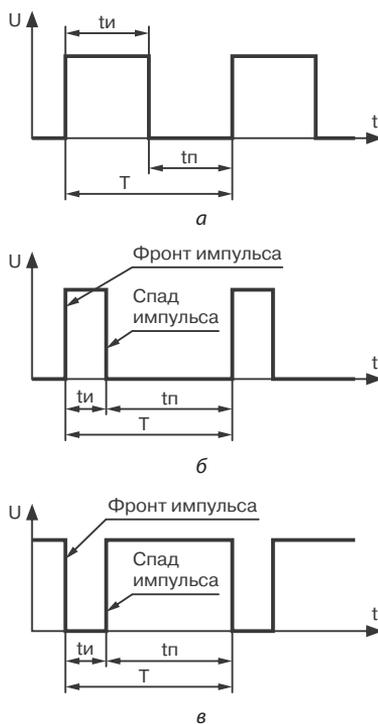


Рис. 5.10. Последовательности импульсов: а — последовательность импульсов «меандр»; б — положительный импульс со скважностью 4; в — мультивибратор

Скважность показывает во сколько раз период следования импульса больше длительности импульса.

На **рис. 5.10** период следования импульсов обозначен, как и везде, буквой  $T$ , а длительность импульса и паузы, соответственно,  $t_{и}$  и  $t_{п}$ . В виде математической формулы скважность будет выражена так:

$$S = T/t_{и}.$$

В силу этого соотношения скважность импульсов типа «меандр» равняется двум. Термин меандр в данном случае заимствован из строительства и архитектуры: это один из способов кладки кирпича, рисунок кладки как раз напоминает указанную последовательность импульсов. Последовательность импульсов «меандр» показана на **рис. 5.10, а**.



**Это полезно запомнить.**

*Величина, обратная скважности, называется коэффициентом заполнения и обозначается буквой  $D$  от английского *Duty cycle*.*

Согласно вышесказанному  $D = 1/S$ .

Зная период следования импульсов можно определить частоту следования, которая вычисляется по формуле  $F = 1/T$ .

Начало импульса называется **фронтом**, а окончание соответственно **спадом**. На **рис. 5.10, б** изображен положительный импульс со скважностью 4. Его фронт начинается от низкого уровня и переходит в высокий. Такой фронт называется **положительным** или **восходящим**. Соответственно, спад данного импульса, как видно на **рис. 5.10, б**, будет **отрицательным, падающим**.

Для импульса низкого уровня фронт будет падающим, а спад — нарастающим. Эта ситуация показана на **рис. 5.10, в**.

### Опыты

После такой небольшой теоретической подготовки можно приступать к опытам. Для того, чтобы собрать мультивибратор, показанный на **рис. 5.9**, достаточно к микросхеме уже установленной на макетной плате, припаять два конденсатора и два резистора. Для исследования выходных сигналов можно воспользоваться просто вольтметром, желательно стрелочным, а не цифровым.

Конечно, прежде чем включать собранную схему, надо проверить, нет ли каких-нибудь замыканий, убедиться в правильности сборки в соответствии со схемой. При указанных на схеме номиналах конденсаторов и резисторов напряжение на выходе мультивибратора будет изменяться от низкого уровня до высокого не более чем тридцать раз в минуту.

Таким образом, стрелка вольтметра, подключенная, например, к выходу первого элемента, будет совершать колебания от нуля практически до пяти вольт.

То же самое можно будет увидеть, если подключить вольтметр к другому выходу: амплитуда и частота отклонений стрелки будут те же, что и в первом случае. Ведь не зря такой мультивибратор часто называют **симметричным**.

Если теперь не полениться и подключить параллельно конденсаторам еще по одному конденсатору такой же емкости, то можно увидеть, что стрелка стала колебаться раза в два медленнее. Частота колебаний уменьшилась в два раза.

Если теперь на место конденсаторов, как указано на схеме, запаять конденсаторы меньшей емкости, например, по 100 микрофарад, то можно заметить просто повышение частоты. Стрелка прибора будет колебаться намного быстрее, но все-же ее движения еще достаточно заметны.

А что получится, если изменить емкость только одного конденсатора? Например, один из конденсаторов так и оставить емкостью 500 микрофарад, а другой заменить на 100 микрофарад. Заметно будет увеличение частоты, а, кроме того, стрелка прибора покажет, что изменилось временное соотношение импульсов и пауз. Хотя и в этом случае согласно схеме мультивибратор все равно остался симметричным.

Теперь попробуем еще уменьшить емкость конденсаторов, например 1—5 микрофарад. В этом случае мультивибратор будет генерировать звуковую частоту порядка 500—1000 Гц. Стрелка прибора на такую частоту реагировать не сможет. Она будет просто находиться где-нибудь посреди шкалы, показывая средний уровень сигнала.

Тут уже просто не понятно, то ли на самом деле идут импульсы достаточно высокой частоты, то ли на выходе микросхемы «серый» уровень. Чтобы такой сигнал различить, потребуется осциллограф, который есть не у всех. Поэтому, чтобы убедиться в работе схемы, можно через конденсатор емкостью 0,1 мкФ подключить головные телефоны, и услышать этот сигнал.

Любой из резисторов можно попробовать заменить переменным, примерно такого же номинала. Тогда при его вращении частота будет изменяться в некоторых пределах, что дает возможность ее точной настройки. В ряде случаев это бывает необходимо.

Однако, вопреки всему рассказанному, случается, что мультивибратор работает неустойчиво или не запускается вовсе. Причина этого явления кроется в том, что эмиттерный вход микросхем ТТЛ весьма критичен к номиналам резисторов, установленных в его цепи. Эта особенность эмиттерного входа заключается в следующих причинах.

Резистор на входе является частью одного из плеч мультивибратора. За счет тока эмиттера на этом резисторе создается напряжение, которое закрывает транзистор. Если сопротивление этого резистора сделать в пределах 2—2,5 кОм, падение напряжения на нем будет настолько большим, что транзистор просто перестает реагировать на входной сигнал.

Если же, наоборот, взять сопротивление этого резистора в пределах 500—700 Ом, транзистор будет все время открыт, т. к. входными сигналами не будет управляться. Поэтому данные резисторы следует подбирать исходя из этих соображений в диапазоне 800—2200 Ом. Только так можно добиться устойчивой работы мультивибратора, собранной по этой схеме.

Тем не менее, на работу такого мультивибратора влияют такие факторы, как температура, нестабильность источника питания, и даже разбросы параметров микросхем. Микросхемы разных производителей зачастую отличаются весьма значительно. Это касается не только 155-й серии, а и других. Поэтому мультивибратор, собранный по такой схеме практически применяется очень редко.

### Мультивибратор на трех элементах

Более стабильная схема мультивибратора показана на рис. 5.11, а. Она состоит из трех логических элементов, включенных, также как и

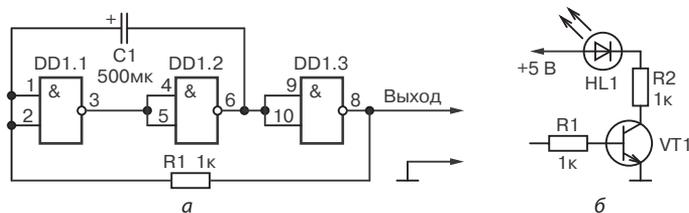


Рис. 5.11. Мультивибратор на трех логических элементах: а — стабильная схема мультивибратора; б — схема индикатора

в предыдущей, схеме инверторами. Как видно из схемы, в эмиттерных цепях логических элементов только что упомянутых резисторов нет. Частота колебаний задается всего лишь одной RC цепочкой.

Работу этого варианта мультивибратора можно также наблюдать с помощью стрелочного прибора, но для наглядности можно на той же плате собрать **индикаторный каскад** на светодиоде. Для этого понадобится один транзистор типа КТ315, два резистора и один светодиод. Схема индикатора показана на рис. 5.11, б. Его также можно спаять на макетной плате вместе с мультивибратором.

После включения питания мультивибратор начнет вырабатывать колебания, о чем свидетельствуют вспышки светодиода. При указанных на схеме номиналах времязадающей цепочки частота колебаний около 1 Гц. Чтобы убедиться в этом, достаточно посчитать количество колебаний за 1 минуту: их должно быть около шестидесяти, что соответствует 1 колебанию в секунду. По определению — это как раз и есть 1 Гц.

**Изменить частоту** такого мультивибратора можно двумя способами. Сначала подключите параллельно конденсатору еще один конденсатор такой же емкости. Вспышки светодиода стали примерно в два раза реже, что говорит об уменьшении частоты вдвое.

Другой способ изменения частоты состоит в изменении сопротивления резистора. Проще всего на его место установить переменный резистор номиналом 1,5—1,8 кОм. При вращении этого резистора частота колебаний будет изменяться в пределах 0,5—20 Гц. Максимальная частота получится в том положении переменного резистора, когда будут замкнуты выводы микросхемы 1 и 8.

Если поменять конденсатор, например емкостью на 1 мкФ, то с помощью того же переменного резистора возможна регулировка частоты в пределах 300—10000 Гц.



**Это интересно знать.**

*Это уже частоты звукового диапазона, поэтому свечение индикатора выглядит непрерывным. Сказать есть импульсы или нет, невозможно.*

Поэтому, как в предыдущем случае, следует воспользоваться головными телефонами, подключенными к выходу через конденсатор 0,1 мкФ. Лучше, если головные телефоны будут высокоомными.

Для рассмотрения принципа работы мультивибратора на трех элементах вернемся к его схеме. После того, как будет включено питание,

логические элементы примут какое-то состояние не одновременно, какое именно можно только предполагать. Предположим, что элемент DD1.2 первым оказался в состоянии высокого уровня на выходе. С его выхода через незаряженный конденсатор C1 напряжение высокого уровня передается на вход элемента DD1.1, который установится в нулевое состояние. На входе элемента DD1.3 высокий уровень, поэтому он также устанавливается в нулевое состояние.

Но это состояние устройства неустойчивое: конденсатор C1 постепенно заряжается через выход элемента DD1.3 и резистор R1, что приводит к постепенному уменьшению напряжения на входе DD1.1. Когда напряжение на входе DD1.1 приблизится к пороговому, он переключится в единицу, и, соответственно, этому элемент DD1.2 в нуль.

В таком состоянии конденсатор C1 через резистор R1 и выход элемента DD1.2 (в это время на его выходе низкий уровень) начинает перезаряжаться с выхода элемента DD1.3. Как только по мере зарядки конденсатора напряжение на входе элемента DD1.1 превысит пороговый уровень, все элементы переключатся в противоположные состояния. Таким образом, на выводе 8 элемента DD1.3, являющимся выходом мультивибратора, формируются электрические импульсы. Также импульсы можно снять с вывода 6 элемента DD1.2.

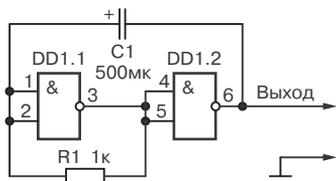
После того, как мы разобрались с получением импульсов в трехэлементном мультивибраторе, можно попробовать сделать двухэлементный, схема которого показана на **рис. 5.12**.

Для этого достаточно правый по схеме вывод резистора R1 отпаять от вывода 8 и запаять на вывод 1 элемента DD1.1. выходом устройства станет вывод 6 элемента DD1.2. Элемент DD1.3 уже не нужен, и его можно отключить, например, для использования в других цепях.

Принцип работы такого генератора импульсов мало отличается от только что рассмотренного. Предположим, что на выходе элемента DD1.1 высокий уровень, тогда элемент DD1.2 находится в нулевом состоянии, что дает возможность конденсатору C1 заряжаться через резистор и

выход элемента DD1.2.

По мере заряда конденсатора напряжение на входе элемента DD1.1 достигнет порогового, оба элемента переключатся в противоположное состояние. Это позволит конденсатору перезаряжаться через выходную цепь второго элемента, рези-



**Рис. 5.12.** Мультивибратор на двух логических элементах

стор и входную цепь первого элемента. При снижении напряжения на входе первого элемента до порогового оба элемента перейдут в противоположное состояние.

Как было сказано выше, некоторые экземпляры микросхем в схемах генераторов работают нестабильно. Это может зависеть не только от конкретного экземпляра, а даже от производителя микросхемы. Поэтому, если генератор не запускается, можно между входом первого элемента и «землей» подключить резистор сопротивлением 1,2—2,0 кОм. Оно создает на входе напряжение, близкое к пороговому, чем облегчает запуск и собственно работу генератора.

Такие варианты генераторов в цифровой технике применяются весьма часто. В следующих частях статьи будут рассмотрены относительно простые устройства, собранные на базе рассмотренных генераторов. Но сначала следует рассмотреть еще один вариант мультивибратора — **одновибратор**, или, по другому, **моновибратор**.

### **Схема одновибратора и принцип его работы согласно временной диаграмме**

**Одновибратором** называют генератор одиночных импульсов. Логика его работы состоит в следующем: если на вход одновибратора подать короткий импульс, то на его выходе формируется импульс, длительность которого задана RC цепочкой.

После того, как этот импульс закончится, одновибратор переходит в состояние ожидания следующего запускающего импульса. В силу этого одновибратор часто называют **ждушим мультивибратором**. Самая простая схема одновибратора показана на **рис. 5.13**. На практике кроме этой схемы применяется несколько десятков разновидностей одновибраторов.

На **рис. 5.13, а** показана схема одновибратора, а на **рис. 5.13, б** — его временные диаграммы. Одновибратор содержит два логических элемента: первый из них используется в качестве элемента 2И-НЕ, в то время как второй включен по схеме инвертора.

Запуск одновибратора осуществляется при помощи кнопки SB1, правда, это только для учебных целей. Реально на этот вход может быть подан сигнал от других микросхем. Для индикации состояния к выходу также подключен светодиодный индикатор, также показанный на схеме. Конечно же, он не является деталью одновибратора, поэтому его можно и не ставить.

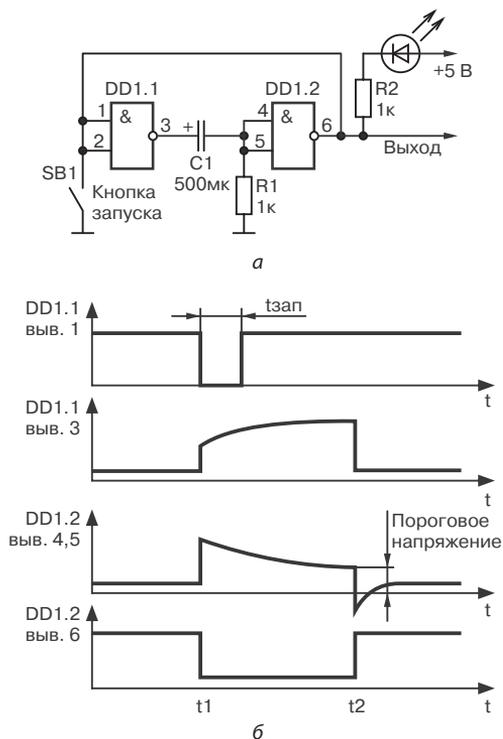


Рис. 5.13. Простейший одновибратор:  
а — схема одновибратора;  
б — временные диаграммы одновибратора

Конденсатор С1 выбран большой емкости. Это сделано для того, чтобы импульс имел длительность достаточную для индикации с помощью стрелочного прибора, имеющего большую инерцию. Минимальная емкость конденсатора, при которой еще можно обнаружить импульс стрелочным прибором, — 50 мкФ, а сопротивление резистора R1 в пределах 1—1,5 кОм.

В целях упрощения схемы можно было бы обойтись без кнопки SB1, замыкая вывод 1 микросхемы на общий провод. Но при таком решении иногда будут возникать сбои в работе одновибратора, обусловленные дребезгом контактов. Подробное рассмотрение этого явления и методы борьбы с ним мы разберем чуть позже при описании счетчиков и частотомера.

После того, как одновибратор собран, и питание подано, измерим напряжение на входах и выходах обоих элементов. На выводе 2 элемента DD1.1 и выходе 8 элемента DD1.2 должен быть высокий уровень, а на выходе элемента DD1.1 — низкий. Поэтому можно сказать, что в ждущем режиме второй элемент, выходной, находится в единичном состоянии, а первый — в нулевом.

Теперь подключим вольтметр на выход элемента DD1.2 — вольтметр покажет высокий уровень. После чего, наблюдая за стрелкой прибора, кратковременно нажмем на кнопку SB1. стрелка быстро отклонится почти до нуля. Приблизительно секунды через 2 также резко вернется в исходное положение. Это говорит о том, что стрелочный прибор показал импульс низкого уровня. При этом через выход элемента DD1.2 также зажжется светодиод. Если повторить этот опыт несколько раз, то результаты должны быть одинаковыми.

Если к конденсатору подключить параллельно еще один, емкостью 1000 мкФ, длительность импульса на выходе увеличится втрое.

Если резистор R1 заменить переменным номиналом около 2 кОм, то его вращением можно в некоторых пределах изменять длительность выходного импульса. Если же выкрутить резистор настолько, что его сопротивление станет менее 100 Ом, то мультивибратор просто перестает генерировать импульсы.



#### Сделаем вывод.

*Из проделанных опытов можно сделать такие выводы: чем больше сопротивление резистора и емкость конденсатора, тем больше время генерируемого мультивибратором импульса.*

В данном случае резистор R1 и конденсатор C1 являются **временязадающей RC цепочкой**, от которой зависит длительность генерируемого импульса.

Если емкость конденсатора и сопротивление резистора значительно уменьшить, например, поставить конденсатор емкостью 0,01 мкФ, то индикаторами в виде вольтметра и даже светодиода обнаружить импульсы просто не удастся, поскольку они получатся очень короткими.

На рис. 5.13, б показаны **временные диаграммы** работы мультивибратора. Они помогут разобраться в его работе.

В исходном, ждущем, состоянии вход 1 элемента DD1.1 никуда не подключен, так как контакты кнопки пока разомкнуты. Такое состояние есть не что иное, как единица. Чаще такой вход не оставляют «висеть» в воздухе, а через резистор сопротивлением 1 кОм подключают к цепи питания + 5 В. Такое подключение ослабляет воздействие входных помех.

На входе элемента DD1.2 уровень напряжения низкий, что обусловлено подключенным к нему резистором R1. Поэтому на выходе элемента DD1.2 будет, соответственно, высокий уровень, который поступает на верхний по схеме вход элемента DD1.1. В итоге получаем на обоих входах DD1.1 высокий уровень, который дает на его выходе низкий уровень, и конденсатор C1 почти полностью разряжен.

При нажатии кнопки, на вход 1 элемента DD1.1 подается импульс запуска низкого уровня, показанный на верхнем графике (рис. 5.13, б). Поэтому элемент DD1.1 переходит в единичное состояние.

В этот момент на его выходе появляется положительный фронт, который через конденсатор C1 передается на вход элемента DD1.2,

отчего последний переходит из единицы в нуль. Этот же нуль присутствует и на входе 2 элемента DD1.1, поэтому он останется в единичном же состоянии после размыкания кнопки SB1, то есть даже при окончании запускающего импульса.

Положительный перепад напряжения на выходе элемента DD1.1 через резистор R1 заряжает конденсатор C1, отчего напряжение на резисторе R1 уменьшается. При снижении этого напряжения до порогового, происходит переход элемента DD1.2 в состояние единицы, а DD1.1 переключается в нуль. При таком состоянии логических элементов конденсатор будет разряжен через вход элемента DD1.2 и выход DD1.1. Таким образом, мультивибратор вернется в режим ожидания следующего запускающего импульса, или просто в **ждущий режим**.

Однако, при проведении опытов с мультивибратором не следует забывать, что длительность запускающего импульса должна быть обязательно меньше выходного. Если кнопку просто удерживать в нажатом состоянии, то никаких импульсов на выходе дождаться будет невозможно.

### Простые схемы на мультивибраторах

Мультивибратор является устройством достаточно универсальным, поэтому его применение очень разнообразно. На рис. 5.14 показана схема мультивибратора на трех логических элементах.

Частота колебаний при номиналах, указанных на схеме, будет около 1 Гц. Дополнив такой мультивибратор светодиодным индикатором, можно получить простой генератор световых импульсов. Если транзистор взять достаточно мощным, например, КТ972, вполне возможно сделать небольшую гирлянду для маленькой елки. Подключив вместо светодиода телефонный капсюль ДЭМ-4м, можно будет услышать щелчки при переключении мультивибратора. Такое устройство можно применить в качестве метронома при обучении игре на музыкальных инструментах.

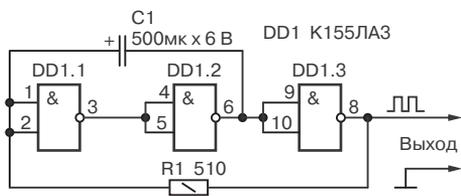


Рис. 5.14. Мультивибратор на трех элементах

На базе мультивибратора очень просто сделать **генератор звуковых частот**. Для этого необходимо, чтобы конденсатор был емкостью 1 мкФ, а в качестве резистора R1 применить переменный сопротивлением 1,5—2,2 кОм. Весь звуко-

вой диапазон такой генератор, конечно, не перекроет, но в некоторых пределах частоту колебаний можно будет изменять. Если необходим генератор с более широким диапазоном частот, это можно сделать, изменяя емкость конденсатора при помощи переключателя.

### Генератор прерывистого звукового сигнала

В качестве примера использования мультивибратора можно рассмотреть схему, издающую прерывистый звуковой сигнал. Для ее создания потребуются уже два мультивибратора. В этой схеме мультивибраторы на двух логических элементах, что позволяет собрать такой генератор всего на одной микросхеме. Его схема показана на рис. 5.15.

Генератор на элементах DD1.3 и DD1.4 вырабатывает колебания звуковой частоты, которые воспроизводит телефонный капсюль ДЭМ-4М. Вместо него можно применить любой с сопротивлением обмотки около 600 Ом. При указанных на схеме номиналах C2 и R2 частота звуковых колебаний около 1000 Гц.

Но звук будет раздаваться лишь в то время, когда на выводе 6 мультивибратора на элементах DD1.1 и DD1.2 будет высокий уровень, который разрешит работу мультивибратора на элементах DD1.3, DD1.4. В случае, когда на выходе первого мультивибратора низкий уровень второй мультивибратор остановлен, звука в телефонном капсюле нет.

Для проверки работы звукового генератора можно 10-й вывод элемента DD1.3 отключить от вывода 6 DD1.2. В этом случае должен зазвучать непрерывный звуковой сигнал (не забывайте, что если вход логического элемента никуда не подключен, то такое его состояние рассматривается как высокий уровень).

Если 10-й вывод соединить с общим проводом, например, проволочной перемычкой, то звук в телефоне прекратится. То же самое можно сделать и, не нарушая соединения десятого вывода. Этот опыт говорит о том, что звуковой сигнал раздается лишь тогда, когда на выводе 6 элемента DD1.2 высокий уровень. Таким образом, первый мультивибратор тактирует работу второго. Подобную схему можно применить, например, в устройствах сигнализации.

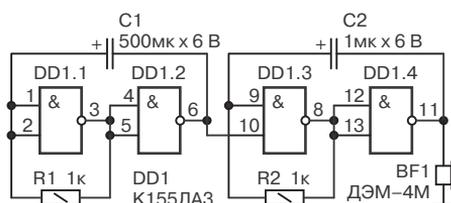


Рис. 5.15. Генератор прерывистого звукового сигнала

Вообще, проволочная перемычка, соединенная с общим проводом, широко используется при исследовании и ремонте цифровых схем в качестве сигнала низкого уровня. Можно сказать, что это классика жанра. Опасения что-либо таким методом «сжечь» совершенно напрасны.

При этом на «землю» можно «сажать» не только входы, но и выходы цифровых микросхем любых серий. Это эквивалентно открытому выходному транзистору или уровню логического нуля, низкому уровню.



### Будьте осторожны.

*В противоположность только что сказанному, совершенно недопустимо выход микросхем подключать к цепи + 5 В: если выходной транзистор в это время будет открыт (все напряжение источника питания будет приложено к участку коллектор — эмиттер открытого выходного транзистора), то микросхема выйдет из строя.*

Учитывая то, что все цифровые схемы не стоят на месте, а что-то все время «делают», работают в импульсном режиме, открытого состояния выходного транзистора ждать придется совсем недолго.

## Пробник для ремонта радиоаппаратуры

Используя логические элементы 2И-НЕ можно создать простой генератор для настройки и ремонта радиоприемников. На его выходе можно

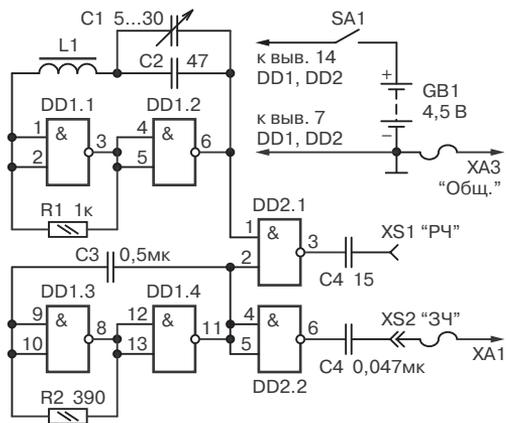


Рис. 5.16. Генератор для проверки приемников

получить колебания звуковой частоты (ЗЧ), и колебания радиочастоты (РЧ), промодулированные ЗЧ. Схема генератора показана на рис. 5.16.

На элементах DD1.3 и DD1.4 собран уже знакомый нам мультивибратор. С его помощью вырабатываются колебания звуковой частоты, которые через инвертор DD2.2 и конденсатор C5 через разъем XA1 используются для проверки усилителя низкой частоты.

Генератор высокочастотных колебаний выполнен на элементах DD1.1 и DD1.2. Это также уже знакомый нам мультивибратор, только здесь появился новый элемент — катушка индуктивности L1, соединенная последовательно с конденсаторами C1 и C2. Частота этого генератора в основном определяется параметрами катушки L1, и в незначительных пределах может подстраиваться конденсатором C1.

На элементе DD2.1 собран смеситель радиочастоты, которая подана на вход 1. На вход 2 подана частота звукового диапазона. Здесь звуковая частота тактирует радиочастоту в точности так же, как в схеме прерывистого звукового сигнала (рис. 5.15): напряжение радиочастоты на выводе 3 элемента DD2.1 появится в тот момент, когда на выводе 11 элемента DD1.4 высокий уровень.

Для получения радиочастоты в диапазоне 3—7 МГц катушку L1 можно намотать на каркасе диаметром 8 мм. Внутрь катушки следует вставить отрезок стержня от магнитной антенны из феррита марки Ф600НМ. Катушка L1 содержит 50—60 витков провода ПЭВ-2 0,2—0,3 мм. Конструкция пробника произвольная.

Для питания генератора-пробника лучше использовать источник стабилизированного напряжения, но можно и гальваническую батарею.

### Применение одновибратора

В качестве простейшего применения одновибратора можно назвать световой сигнализатор. На его основе можно создать мишень для стрельбы теннисными шариками. Схема светового сигнализатора показана на рис. 5.17.

Собственно мишень может быть достаточно больших размеров (картон или фанера), а ее «яблочко» — это металлическая пластина диаметром около 80 мм. На электрической схеме — это контакт SF1.

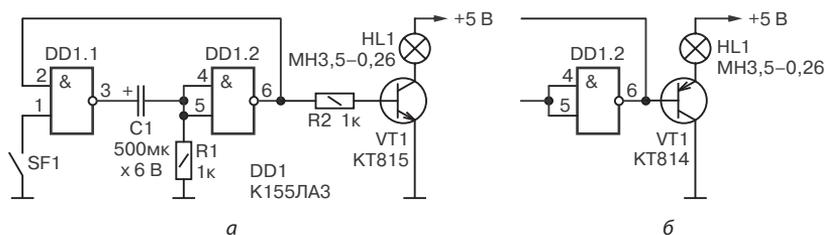


Рис. 5.17. Световой сигнализатор:

а — при попадании в мишень «лампа гаснет»; б — при попадании в мишень «лампа загорается»

При попадании в центр мишени контакты замыкаются весьма кратковременно, поэтому мигания лампочки можно и не заметить. Для предотвращения такой ситуации и служит в данном случае одновибратор: от короткого запускающего импульса лампочка гаснет не менее чем на секунду. В данном случае происходит удлинение запускающего импульса.

Если хочется, чтобы лампа при попадании не гасла, а, наоборот, вспыхивала, следует в схеме индикатора применить транзистор типа КТ814, поменяв местами выводы коллектора и эмиттера. При таком подключении в базовую цепь транзистора резистор можно не ставить.

В качестве генератора одиночных импульсов одновибратор часто применяется при ремонте цифровой техники для проверки работоспособности как отдельных микросхем, так и целых каскадов. Также без одновибратора не обходится ни один стрелочный, или как его называют, аналоговый частотомер.

### Простой частотомер

На четырех логических элементах микросхемы К155ЛА3 можно собрать простой частотомер, позволяющий измерить сигналы частотой 20—20000 Гц. Для того чтобы можно было измерить частоту сигнала любой формы, например, синусоиды, его надо преобразовать в прямоугольные импульсы. Обычно такое преобразование делается при помощи триггера Шмитта. Если можно так сказать, он преобразует «импульсы» синусоиды с пологими фронтами в прямоугольники с крутыми фронтами и спадами. Триггер Шмитта имеет порог срабатывания. Если входной сигнал ниже этого порога, на выходе триггера импульсной последовательности не будет.

Знакомство с работой триггера Шмитта можно начать с проведения несложного опыта. Схема его проведения показана на **рис. 5.18**.

Чтобы смоделировать входной синусоидальный сигнал, используются гальванические батареи GB1 и GB2: перемещение движка переменного резистора R1 в верхнее по схеме положение имитирует положительную полуволну синусоиды, а перемещение вниз — отрицательную.

Опыт следует начать с того, что вращением движка переменного резистора R1 выставить на нем нулевое напряжение, естественно, контролируя его вольтметром. В этом положении на выходе элемента DD1.1 единичное состояние, высокий уровень, а на выходе элемента

DD1.2 логический ноль. Это исходное состояние в отсутствии сигнала.

Подключим вольтметр к выходу элемента DD1.2. Как было написано выше, на выходе мы увидим низкий уровень. Если теперь медленно вращать движок переменного резистора до упора вверх по схеме, а потом вниз также до упора, и обратно, то на выходе DD1.2 прибор покажет переключение элемента с низкого на высокий уровень, и обратно. Другими словами, на выходе DD1.2 присутствуют прямоугольные импульсы положительной полярности.

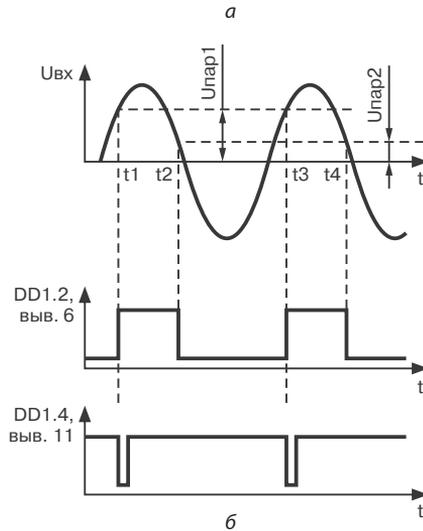
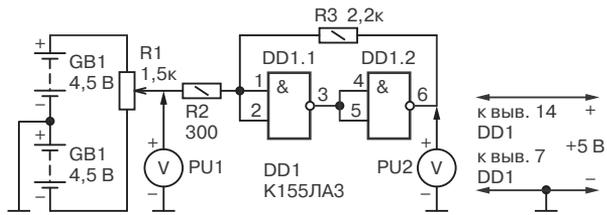


Рис. 5.18. Триггер Шмитта и графики его работы: а — схема; б — графики работы

Работа такого триггера Шмитта поясняется графиком на рис. 5.18, б. Синусоида на входе триггера Шмитта получена вращением переменного резистора. Ее амплитуда — до 3 В.

До тех пор, пока напряжение положительной полуволны не превышает порогового ( $U_{\text{пор1}}$ ), на выходе устройства сохраняется логический ноль (исходное состояние). При увеличении входного напряжения вращением переменного резистора в момент  $t_1$  входное напряжение достигнет порогового (около 1,7 В). Оба элемента переключатся в состояние, противоположное исходному: на выходе устройства (элемент DD1.2) будет напряжение высокого уровня.



#### Это интересно знать.

Дальнейшее повышение входного напряжения, вплоть до амплитудного значения (3 В), к изменению выходного состояния устройства не приводит.

Теперь давайте вращать переменный резистор в обратную сторону. Устройство переключится в исходное состояние, когда входное напряжение снизится до второго, нижнего, порогового напряжения  $U_{пор2}$ , как показано на графике. Таким образом, на выходе устройства вновь устанавливается логический нуль. **Отличительной особенностью** триггера Шмитта является наличие вот этих двух пороговых уровней. Именно ими обусловлен гистерезис срабатывания триггера Шмитта. Ширина петли гистерезиса устанавливается подбором резистора R3, правда не в очень больших пределах.

Дальнейшее вращение переменного резистора вниз по схеме формирует на входе устройства отрицательную полуволну синусоиды. Однако, входные диоды, установленные внутри микросхемы, просто замыкают отрицательную полуволну входного сигнала на общий провод. Поэтому на работу устройства отрицательный сигнал не воздействует.

На рис. 5.19 показана схема простейшего частотомера, выполненного всего на одной микросхеме K155ЛА3. На элементах DD1.1 и DD1.2 собран триггер Шмитта, с устройством и работой которого мы только что познакомились. Остальные два элемента микросхемы используются для построения формирователя измерительных импульсов.



### Это интересно знать.

*Дело в том, что длительность прямоугольных импульсов на выходе триггера Шмитта зависит от частоты измеряемого сигнала. В таком виде будет измеряться все что угодно, только не частота.*

К уже знакомому нам триггеру Шмитта добавилось еще несколько элементов. На входе установлен конденсатор C1. Его задача пропустить на вход частотомера колебания звуковой частоты, ведь частото-

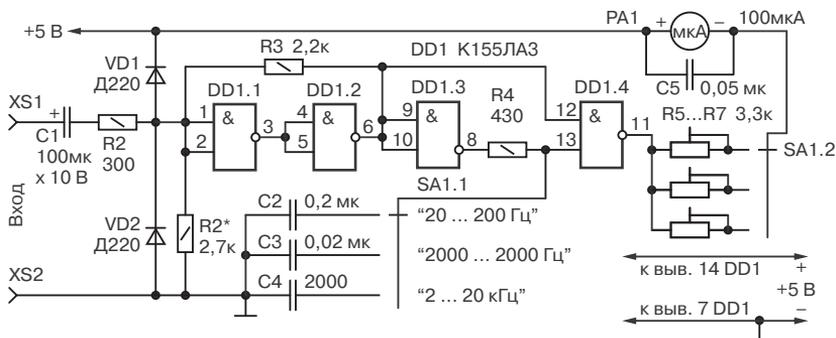


Рис. 5.19. Схема частотомера

мер предназначен для работы именно в таком диапазоне, и преградить прохождение постоянной составляющей сигнала.

Диод VD1 предназначается для ограничения уровня положительной полуволны до уровня напряжения источника питания, а VD2 срезает отрицательные полуволны входного сигнала. В принципе с этой задачей вполне справится и внутренний защитный диод микросхемы, поэтому VD2 можно и не устанавливать. Входное напряжение такого частотомера находится в пределах 3—8 В. Для повышения чувствительности прибора на входе можно установить усилитель.

Импульсы положительной полярности, сформированные из входного сигнала триггером Шмитта, поступают на вход формирователя измерительных импульсов, выполненного на элементах DD1.3 и DD1.4. При появлении на входе элемента DD1.3 напряжения низкого уровня он переключится в единицу.

Поэтому через него и резистор R4 будет заряжаться один из конденсаторов C2—C4. При этом будет возрастать напряжение на нижнем по схеме входе элемента DD1.4 и, в конце концов, достигнет высокого уровня. Но, не смотря на это, элемент DD1.4 остается в состоянии логической единицы, поскольку на его верхнем входе до сих пор присутствует логический ноль с выхода триггера Шмитта (DD1.2 выход б). Поэтому через измерительный прибор PA1 протекает очень незначительный ток, стрелка прибора практически не отклоняется.

Появление на выходе триггера Шмитта логической единицы переключит элемент DD1.4 в состояние логического нуля. Поэтому через стрелочный прибор PA1 протекает ток ограниченный сопротивлением резисторов R5—R7.

Та же единица на выходе триггера Шмитта переключит в нулевое состояние элемент DD1.3. При этом конденсатор формирователя начинает разряжаться. Снижение напряжения на нем приведет к тому, что элемент DD1.4 снова установится в состояние логической единицы, тем самым, заканчивая формирование импульса низкого уровня. Положение измерительного импульса относительно измеряемого сигнала показано на рис. 5.18, г.



#### **Это интересно знать.**

*Для каждого предела измерения длительность измерительного импульса постоянна во всем диапазоне, поэтому угол отклонения стрелки микроамперметра зависит лишь от частоты следования этого самого измерительного импульса.*

Для разных частот длительность измерительного импульса различна. Для более высоких частот измерительный импульс должен быть коротким, а для низких частот — несколько большим. Поэтому для обеспечения измерений во всем диапазоне звуковых частот используются три **времязадающих конденсатора** С2—С4. При емкости конденсатора 0,2 мкФ измеряются частоты 20—200 Гц, 0,02 мкФ — 200—2000 Гц, а при емкости 2000 пФ 2—20 кГц.

Градуировку частотомера проще всего сделать при помощи звукового генератора, начиная с самого низкочастотного диапазона. Для этого надо подать на вход сигнал частотой 20 Гц и отметить на шкале положение стрелки.

После этого подать сигнал частотой 200 Гц, а вращением резистора R5 установить стрелку на последнее деление шкалы. Подавая частоты 30, 40, 50—190 Гц отметить положение стрелки на шкале. Аналогичным образом выполняется настройка и в остальных диапазонах. Возможно, что понадобится более точный подбор конденсаторов С3 и С4, чтобы начало шкалы совпало с отметкой 200 Гц в первом диапазоне.

## 5.4. Как подключить нагрузку к блоку управления на микросхемах

### Логические ноль и единица

Все современное оборудование, как промышленное, так и бытовое приводится в действие электричеством. При этом всю его электрическую схему можно разделить на две большие части:

- ♦ устройства управления (контроллеры от английского слова CONTROL — управлять);
- ♦ исполнительные механизмы.

Лет двадцать назад блоки управления выполнялись на микросхемах малой и средней степени интеграции. Это были серии микросхем К155, К561, К133, К176 и им подобные. Они называются **логическими цифровыми микросхемами**, так как выполняют логические операции над сигналами, а сами сигналы являются цифровыми (дискретными).

В точности так же, как обычные контакты: «замкнут-разомкнут». Только в этом случае эти состояния называются соответственно «логическая единица» и «логический ноль». Напряжение логической

единицы на выходе микросхем находится в пределах от половины напряжения питания до его полной величины, а напряжение логического нуля у таких микросхем, как правило, 0—0,4 В.

Алгоритм работы таких блоков управления осуществлялся за счет соответствующего соединения микросхем, и количество их было достаточно велико.

### Варианты подключения нагрузки

В настоящее время все блоки управления разрабатываются на основе микроконтроллеров разных типов. В этом случае алгоритм работы закладывается не схемным соединением отдельных элементов, а «прошитой» в микроконтроллере программой.

В связи с этим вместо нескольких десятков, а то и сотен микросхем блок управления содержит микроконтроллер и некоторое количество микросхем для взаимодействия с «внешним миром». Но, несмотря на такое усовершенствование, сигналы микроконтроллерного блока управления все те же цифровые, что и у старых микросхем.

Понятно, что мощности таких сигналов недостаточно, чтобы включить мощную лампу, двигатель, да и просто реле. В этом разделе мы рассмотрим, какими способами можно подключить к микросхемам мощные нагрузки.

Самый простой способ — включение нагрузки через реле. На рис. 5.20 реле включается при помощи транзистора VT1. Для этого на его базу через резистор R1 от микросхемы подается логическая единица. Транзистор открывается и включает реле, которое своими контактами (на рис. 5.20 не показаны) включает нагрузку.

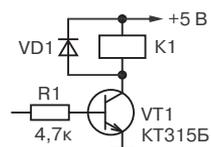


Рис. 5.20. Схема включения нагрузки через реле

Каскад, показанный на рис. 5.21, работает по-другому: чтобы включить реле на выходе микросхемы должен появиться логический 0, который закроет транзистор VT3. При этом транзистор VT4 откроется и включит реле. Кнопкой SB3 можно включить реле вручную.

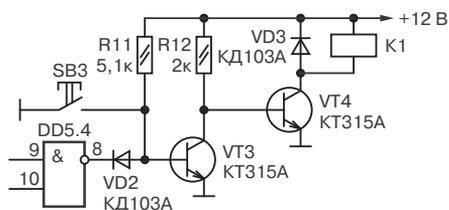
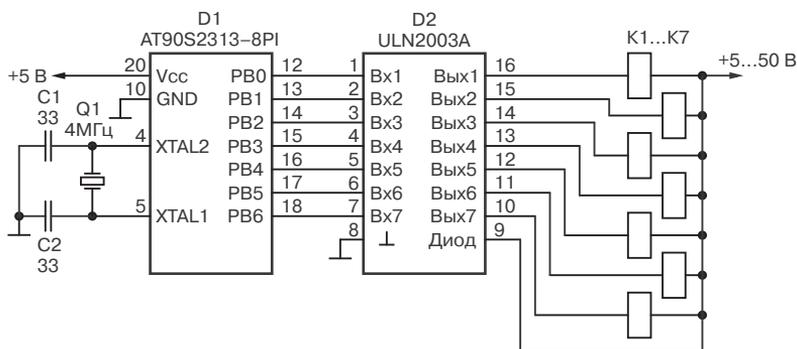


Рис. 5.21. Схема включения нагрузки через реле

На обоих рисунках можно заметить, что параллельно обмоткам

реле включены диоды, причем по отношению к напряжению питания в обратном (непроводящем) направлении. Их назначение — погасить ЭДС самоиндукции (может в десять и более раз превышать напряжение питания) при выключении реле и защитить элементы схемы.

Если же в схеме не одно, два реле, а намного больше, то для их подключения выпускается **специализированная микросхема ULN2003A**, допускающая подключение до семи реле. Такая схема включения показана на **рис. 5.22**, а на **рис. 5.23** — внешний вид современного малогабаритного реле.



**Рис. 5.22.** Схема включения нагрузки при помощи микросхемы ULN2003A



**Рис. 5.23.** Внешний вид современного малогабаритного реле

На **рис. 5.24** показана схема подключения нагрузки с помощью оптронных тиристоров ТО125-12,5-6 (вместо которых, ничего не меняя в схеме, можно подключить реле).

На этой схеме следует обратить внимание на транзисторный ключ, выполненный на двух транзисторах VT3, VT4. Подобное усложнение вызвано тем, что некоторые микроконтроллеры, например, AT89C51, AT89C2051 на время сброса при включении в течение нескольких миллисекунд удерживают на всех выводах уровень логической 1. Если нагрузку подключить по схеме, приведенной на **рис. 5.22**, то срабатывание нагрузки произойдет сразу же при включении питания, что может быть очень нежелательным явлением.

Для того, чтобы включить нагрузку (в данном случае светодиоды оптронных тиристоров V1, V2) на базу транзистора VT3 через резистор R12 следует подать логический 0, что приведет к открытию VT3

и VT4. Последний зажжет светодиоды оптотиристоров, которые откроются и включат сетевую нагрузку. Оптронные тиристоры обеспечивают гальваническую развязку от сети собственно схемы управления, что повышает электробезопасность и надежность схемы.

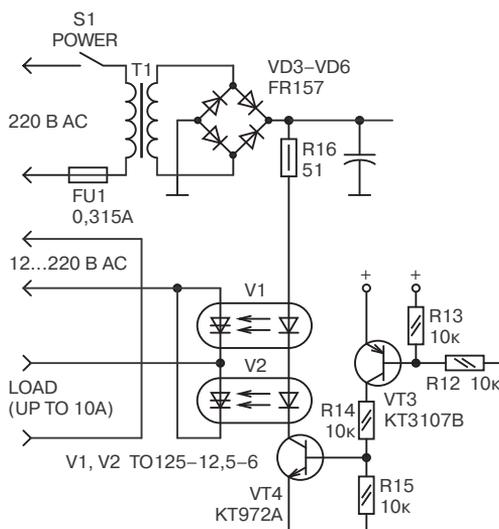


Рис. 5.24. Схема подключения нагрузки с помощью оптронных тиристоров ТО125-12,5-6

### Несколько слов о тиристорах и симисторах

Не вдаваясь в технические подробности и вольтамперные характеристики, можно сказать, что тиристор — это простой диод, у них даже обозначения похожи. Вот только у тиристора имеется еще управляющий электрод. Если на него подать положительный относительно катода импульс, даже кратковременный, то тиристор откроется.

В открытом состоянии тиристор будет находиться до тех пор, пока через него течет ток в прямом направлении. Этот ток должен быть не менее некоторой величины, называемой током удержания. Иначе тиристор просто не включится. Выключить тиристор можно, лишь разорвав цепь или подав напряжение обратной полярности. Поэтому, чтобы пропустить обе полуволны переменного напряжения используется встречно-параллельное включение двух тиристоров (см. рис. 5.24).

Чтобы не делать такого включения выпускаются **симисторы** или на английском языке **триаки**. В них уже в одном корпусе изготовлены два тиристора, включенные встречно — параллельно. Управляющий электрод у них общий.

На рис. 5.25 показаны внешний вид и цоколевка тиристоров, а на рис. 5.26 — то же для триаков.

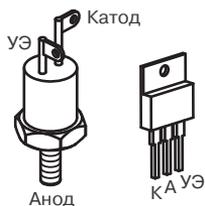


Рис. 5.25. Внешний вид и цоколевка тиристоров

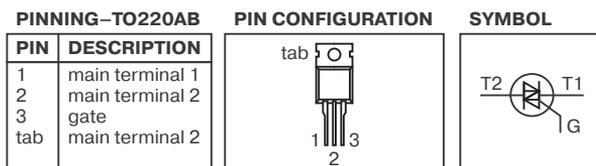


Рис. 5.26. Внешний вид и цоколевка триаков

### Схема подключения триака к микроконтроллеру

На рис. 5.27 показана схема подключения триака к микроконтроллеру (выходу микросхемы) при помощи специального маломощного оптотриака типа МОС3041.

Этот драйвер внутри себя содержит:

- ♦ светодиод, подключенный к выводам 1 и 2 (на рис. 5.27 показан вид на микросхему сверху);
- ♦ собственно оптотриак.

Будучи засвечен светодиодом, он открывается (выводы 6 и 4) и, через резистор R1, соединяет управляющий электрод с анодом, за счет чего открывается мощный триак.

Резистор R2 предназначен для того, чтобы не произошло открытия триака в отсутствии управляющего сигнала в момент включения питания. Цепочка C1, R3 предназначена для подавления помех в момент переключений.

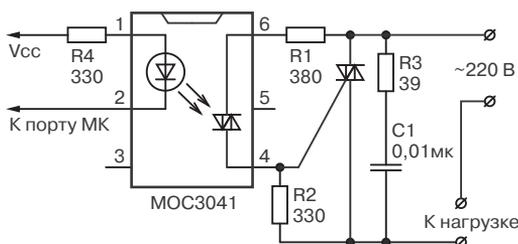


Рис. 5.27. Схема подключения триака к микроконтроллеру



#### Это интересно знать.

Правда, МОС3041 особых помех не создает, поскольку имеет схему CROSS ZERO (переход напряжения через 0), и включения происходят в тот момент, когда сетевое напряжение только перешло через 0.

Все рассмотренные схемы имеют гальваническую развязку от питающей сети, что обеспечивает надежность работы и электробезопасность при значительной коммутируемой мощности.

### Схема подключения тиристоров к микроконтроллеру

Если же мощность незначительна и не требуется гальваническая развязка контроллера от сети, то возможно подключение тиристоров непосредственно к микроконтроллеру. Подобная схема приведена на рис. 5.28.

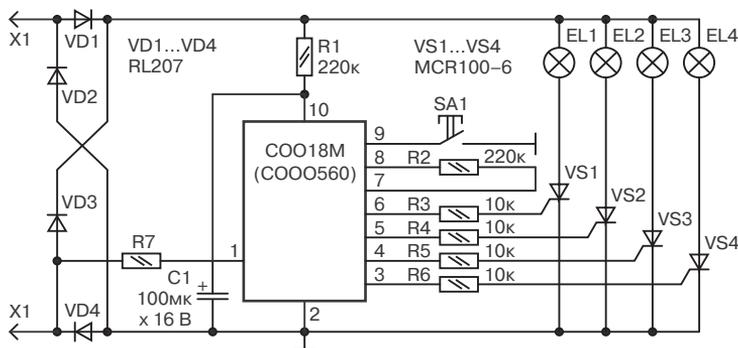


Рис. 5.28. Схема подключения тиристоров к микроконтроллеру

Это схема **елочной гирлянды произведенной**, конечно, в Китае. Управляющие электроды тиристоров MCR 100-6 через резисторы подключены непосредственно к микроконтроллеру (находится на плате под каплей черного компаунда). Мощность управляющих сигналов настолько мала, что потребление тока на все четыре сразу, менее 1 миллиампера. При этом обратное напряжение до 800 В и ток до 0,8 А. Габаритные же размеры, как у транзисторов КТ209.

Схемы, рассмотренные выше, проверены на практике и, как правило, при ремонте или самостоятельном изготовлении огорчений не приносят.

## 5.5. Простой логический пробник

### Назначение

В этом разделе рассматривается схема логического пробника для отыскания неисправностей цифровых схем, описание его возможностей и приемов работы с пробником.

Общеизвестно, что для ремонта и налаживания электронных цифровых схем необходим осциллограф. Конечно, сейчас прошли те вре-

мена, когда приходилось на заводах ремонтировать большие ЭВМ. Зато появились устройства различного назначения на микроконтроллерах, специализированных микросхемах, большое количество устройств с использованием цифровых микросхем малой степени интеграции (еще не все предприятия и организации успели приобрести современное импортное оборудование).

Обычным авометром невозможно увидеть процессы, происходящие в импульсных схемах и сделать выводы о работе схемы в целом. Но осциллограф под рукой может оказаться не всегда. Вот в этом случае может оказать неоценимую помощь описываемый логический пробник.

Подобных устройств в литературе было описано немало, и все они при одинаковом назначении все-таки имеют совершенно разные параметры: есть такие, что просто неудобны и непонятны в работе. Такие пробники выпускались отечественной промышленностью до конца прошлого века.

Схема пробника, рассмотренного в этом разделе, показала себя надежной и удобной в работе.

Основное отличие данной схемы от подобных — минимальное количество деталей при достаточно широких возможностях. Одной из особенностей схемы является наличие второго входа, что иногда позволяет обходиться без двулучевого осциллографа.

### Описание принципиальной схемы

Схема логического пробника показана на **рис. 5.29**.

Питание пробника (+5 В) осуществляется от проверяемой схемы. Исследуемый сигнал поступает на базы входных транзисторов VT1, VT2, предназначенных для увеличения входного сопротивления прибора. Далее, через диоды VD1, VD2 сигнал проходит на элементы D1.2, D1.3, D1.4, которые зажигают красный и зеленый светодиоды.

### Приемы работы с пробником

Свечение красного светодиода говорит о наличии на входе 1 логической единицы, а зеленого — логического нуля.

Для описываемого пробника напряжение логического нуля 0—0,4 В, а логической единицы 2,4—5,0 В. Если вход 1 пробника никуда не подключен, оба светодиода погашены.

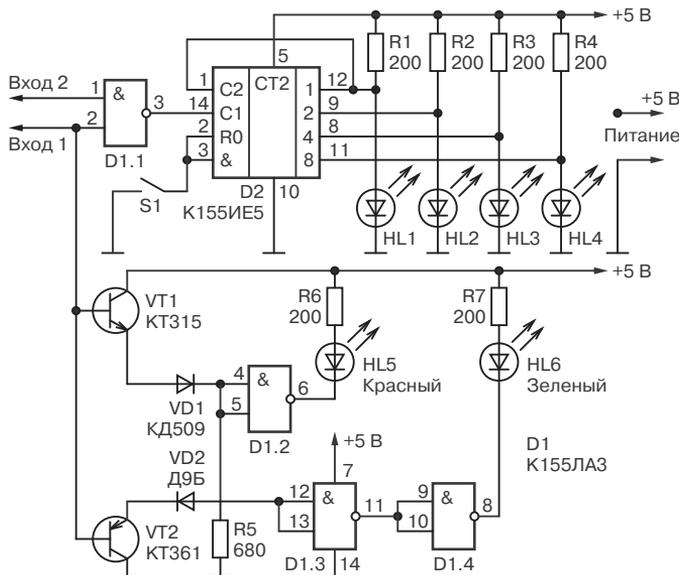


Рис. 5.29. Электрическая принципиальная схема логического пробника

В том случае, когда вход 1 подключен к проверяемой схеме, и оба светодиода погашены, можно предположить, что есть неисправность. Такой уровень называется «серым».

Кроме показа логических уровней нуля и единицы пробник также может показывать наличие импульсов. Для этих целей служит двоичный счетчик D2, к выходам которого подсоединены светодиоды HL1—HL4 желтого цвета.

С приходом каждого импульса состояние счетчика увеличивается на единицу. Если частота следования импульсов невелика, то можно увидеть мигание светодиодов счетчика, даже если импульс длительно-стью несколько микросекунд появляется раз в секунду или еще реже. Такой процесс можно зафиксировать только с помощью запоминающего осциллографа — прибора достаточно дорогого и редкого.



#### Это интересно знать.

Когда импульсы следуют с высокой частотой, кажется, что светодиоды HL1—HL4 светятся непрерывно, хотя на самом деле зажигаются импульсами.

По характеру свечения красного и зеленого светодиодов можно приблизительно оценить форму импульсов. Если яркость свечения

обоих светодиодов одинакова, то длительность импульса (лог. 1) равна длительности паузы (лог. 0). Более интенсивное свечение красного светодиода говорит о том, что длительность импульса (лог. 1) больше, чем длительность паузы (лог. 0), и наоборот.

Соотношение импульса и паузы может быть таким, что заметно свечение только лишь одного светодиода. Но если при этом счетчик продолжает считать, то значит идут импульсы. Для сброса счетчика используется кнопка S1: если после ее нажатия и отпускания светодиоды HL1—HL4 погасли и своего состояния не изменяют, то импульсов нет, а пробник показывает просто логический уровень нуля или единицы.

### Несколько слов о деталях

Диоды VD1, VD2 могут быть заменены любыми импульсными маломощными диодами. Только при этом следует помнить, что VD1 должен быть кремниевым, а VD2 обязательно германиевым: именно они разделяют уровень нуля и единицы. Транзисторы могут быть с любыми буквенными индексами, либо заменены на КТ 3102 и КТ3107.

Микросхемы могут быть заменены импортными аналогами: К155ЛА3 — на SN7400N, а К155ИЕ5 — на SN7493N.

Конструкция пробника произвольна, но лучше всего выполнить его с помощью печатного монтажа в виде щупа, поместив в подходящий пластмассовый корпус.



#### **Будьте осторожны.**

*При работе с пробником необходимо внимательно следить за тем, чтобы не подключить питание к цепям с напряжением более 5 В, а также не касаться таких цепей измерительным щупом. Подобные касания приводят к ремонту прибора.*

## 5.6. Индикаторы и сигнализаторы на регулируемом стабилитроне TL431

### Назначение

Интегральный стабилизатор TL431 применяется в основном в блоках питания. Однако, для него можно найти еще немало применений.

В этом разделе будет рассказано о простых и полезных устройствах, выполненных с применением микросхемы TL431. Но в данном случае не надо пугаться слова «микросхема», у нее всего три вывода, и внешне она похожа на простой маломощный транзистор в корпусе TO90.

### Сначала немного истории

Уж так повелось, что всем электронщикам известны магические числа 431, 494. Что это такое?

Компания TEXAS INSTRUMENTS стояла у самых истоков полупроводниковой эры. Все это время она находится на первых местах в списке мировых лидеров в производстве электронных компонентов, прочно удерживаясь в первой десятке или, как чаще говорят, в мировом рейтинге TOP-10. Первая интегральная микросхема была создана еще в 1958 году сотрудником этой компании Джеком Килби.

Сейчас компания TI выпускает широкий ассортимент микросхем, название которых начинается с префиксов TL и SN. Это соответственно аналоговые и логические (цифровые) микросхемы, которые навсегда вошли в историю компании TI и до сих пор находят широчайшее применение.

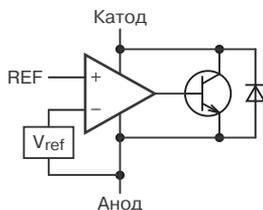
В числе самых первых в списке «магических» микросхем следует, наверно, считать регулируемый стабилизатор напряжения TL431. В трехвыводном корпусе этой микросхемы спрятано 10 транзисторов, а функция, выполняемая ею, одинакова с обычным стабилитроном (диод Зенера).

Но за счет подобного усложнения микросхема обладает более высокой термостабильностью и повышенной крутизной характеристики. Главная же ее особенность в том, что при помощи внешнего делителя напряжение стабилизации можно изменять в пределах 2,5—30 В. У последних моделей нижний порог составляет 1,25 В.

TL431 была создана сотрудником компании TI Барни Холландом в начале семидесятых годов. Тогда он занимался копированием микро-

схемы стабилизатора другой компании. У нас бы сказали сдириания, а не копирования. Так вот Барни Холланд позаимствовал из оригинальной микросхемы источник опорного напряжения, а уже на его основе создал отдельную микросхему-стабилизатор. Сначала она называлась TL430, а после некоторых усовершенствований получила название TL431.

С тех пор прошло немало времени, а нет сейчас ни одного компьютерного блока питания, где бы она не нашла применения. Она также находит применение практически во всех маломощных импульсных источниках питания. Один из таких источников теперь есть в каждом доме, — это зарядное устройство для сотовых телефонов. Такому долгожительству можно только позавидовать. На рис. 5.30 показана функциональная схема TL431.



**Рис. 5.30.**  
Функциональная схема  
TL431

Также Барни Холландом была создана не менее известная и до сих пор востребованная микросхема TL494. Это двухтактный ШИМ-контроллер, на базе которого было создано множество моделей импульсных источников питания. Поэтому число 494 также по праву относится к «магическим».

А теперь перейдем к рассмотрению различных конструкций на базе микросхемы TL431.

### Индикаторы и сигнализаторы

Микросхема TL431 может применяться не только по своему прямому назначению как стабилитрон в блоках питания. На ее основе возможно создание различных световых индикаторов и даже звуковых сигнализаторов. С помощью подобных устройств можно отслеживать много различных параметров.

В первую очередь, это просто электрическое напряжение. Если же какую-либо физическую величину с помощью датчиков представить в виде напряжения, то можно сделать устройство, контролирующее, например, уровень воды в емкости, температуру и влажность, освещенность или давление жидкости или газа.

### Сигнализатор превышения напряжения

Работа такого сигнализатора основана на том, что при напряжении на управляющем электроде стабилитрона DA1 (вывод 1) менее 2,5 В стабилитрон закрыт, через него протекает лишь небольшой ток, как правило, не более 0,3—0,4 мА. Но этого тока достаточно для очень слабого свечения светодиода HL1. Чтобы этого явления не наблюдалось, достаточно параллельно светодиоду подключить резистор сопротивлением примерно 2—3 кОм. Схема сигнализатора превышения напряжения показана на рис. 5.31.

Если же напряжение на управляющем электроде превысит 2,5 В, стабилитрон откроется и засветится светодиод HL1. Необходимое ограничение тока через стабилитрон DA1 и светодиод HL1 обеспечивает резистор R3. Максимальный ток стабилитрона составляет 100 мА, в то время как тот же параметр у светодиода HL1 — всего 20 мА. Именно из этого условия и рассчитывается сопротивление резистора R3. более точно это сопротивление можно рассчитать по нижеприведенной формуле.

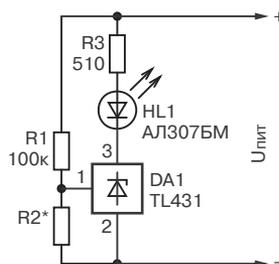


Рис. 5.31. Сигнализатор превышения напряжения

$$R3 = (U_{пит} - U_{hl} - U_{da})/I_{hl}$$

Здесь использованы следующие обозначения:  $U_{пит}$  — напряжение питания,  $U_{hl}$  — прямое падение напряжения на светодиоде,  $U_{da}$  — напряжение на открытой микросхеме (обычно 2 В),  $I_{hl}$  — ток светодиода (задается в пределах 5—15 мА).

Также не следует забывать о том, что максимальное напряжение для стабилитрона TL431 всего 36 В. Этот параметр также превышать нельзя.

### Уровень срабатывания сигнализатора

Напряжение на управляющем электроде, при котором загорается светодиод HL1 ( $U_3$ ) задается делителем R1, R2. параметры делителя рассчитываются по формуле:

$$R2 = 2,5 \times R1 / (U_3 - 2,5).$$

Для более точной настройки порога срабатывания можно вместо резистора R2 установить подстроечный, номиналом раза в полтора больше, чем получилось по расчету. После того, как настройка произ-

ведена, его можно заменить постоянным резистором, сопротивление которого равно сопротивлению введенной части подстроечного.

Иногда требуется контролировать несколько уровней напряжения. В этом случае потребуются три таких сигнализатора, каждый из которых настроен на свое напряжение. Таким образом, возможно создание целой линейки индикаторов, линейной шкалы.

Для питания цепи индикации, состоящей из светодиода HL1 и резистора R3, можно применить отдельный источник питания, даже нестабилизированный. В этом случае контролируемое напряжение подается на верхний по схеме вывод резистора R1, который следует отключить от резистора R3. При таком включении контролируемое напряжение может находиться в пределах от трех, до нескольких десятков вольт.

### Индикатор пониженного напряжения

Индикатор пониженного напряжения показан на рис. 5.32. Отличие этой схемы от предыдущей в том, что светодиод включен по-другому. Такое включение называется **инверсным**, поскольку светодиод загорается в том случае, когда микросхема закрыта.

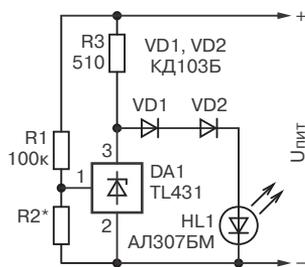


Рис. 5.32. Схема индикатора пониженного напряжения

В случае если контролируемое напряжение превышает порог, установленный делителем R1, R2, микросхема открыта, и ток протекает через резистор R3 и выводы 3-2 (катод-анод) микросхемы.

На микросхеме в этом случае присутствует падение напряжения 2 В, которого не достаточно для зажигания светодиода. Чтобы светодиод гарантированно не зажегся, последовательно с ним установлены два диода. Некоторые типы светодиодов, например, синие, белые и некоторые типы зеленых, зажигаются, когда напряжение на них превышает 2,2 В. В этом случае вместо диодов VD1, VD2 устанавливаются перемычки из проволоки.

Когда контролируемое напряжение станет меньше установленного делителем R1, R2, микросхема закроется, напряжение на ее выходе будет намного больше 2 В, поэтому светодиод HL1 зажжется.

Если требуется контролировать только изменение напряжения индикатор можно собрать по схеме, представленной на рис. 5.33.

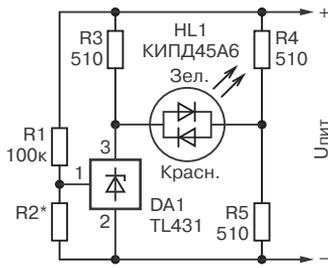


Рис. 5.33. Индикатор изменения напряжения

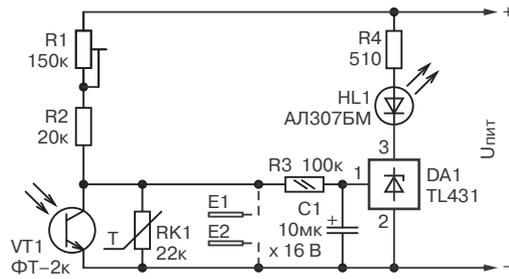


Рис. 5.34. Схема контроля параметров окружающей среды

В этом индикаторе применен двухцветный светодиод HL1. Если контролируемое напряжение превышает пороговое значение, светится красный светодиод, а если напряжение понижено, то горит зеленый.

В случае, когда напряжение находится вблизи заданного порога (примерно 0,05—0,1 В) погашены оба индикатора, так как передаточная характеристика стабилитрона имеет вполне определенную крутизну.

Если требуется следить за изменением какой-либо физической величины, то резистор R2 можно заменить датчиком, изменяющим сопротивление под действием окружающей среды. Подобное устройство показано на рис. 5.34.

Условно на одной схеме показано сразу несколько датчиков. Если это будет фототранзистор, то получится фотореле. Пока освещенность большая, фототранзистор открыт, и его сопротивление невелико. Поэтому напряжение на управляющем выводе DA1 меньше порогового, вследствие этого светодиод не светит.

По мере снижения освещенности сопротивление фототранзистора увеличивается, что приводит к возрастанию напряжения на управляющем выводе DA1. Когда это напряжение превысит пороговое (2,5 В), стабилитрон открывается и зажигается светодиод.

Если вместо фототранзистора к входу устройства подключить терморезистор, например серии ММТ, получится индикатор температуры: при понижении температуры светодиод будет загораться.

Эту же схему можно применить в качестве датчика влажности, например, земли. Для этого вместо терморезистора или фототранзистора следует подключить электроды из нержавеющей стали, которые на некотором расстоянии друг от друга воткнуть в землю. При высыхании земли до уровня, определенного при настройке, светодиод зажжется.

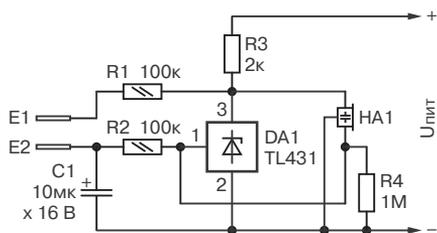


Рис. 5.35. Схема звукового индикатора уровня жидкости

Порог срабатывания устройства во всех случаях устанавливается с помощью переменного резистора R1.

Кроме перечисленных световых индикаторов на микросхеме TL431, возможно собрать и **звуковой индикатор**. Схема такого индикатора показана на рис. 5.35.

Для контроля уровня жидкости, например, воды в ванне, к схеме

подключается датчик из двух нержавеющей пластин, которые расположены на расстоянии нескольких миллиметров друг от друга.

Когда вода достигнет датчика, его сопротивление уменьшается, а микросхема через резисторы R1 R2 входит в линейный режим. Поэтому возникает автогенерация на резонансной частоте пьезокерамического излучателя HA1, на которой и зазвучит звуковой сигнал.

В качестве излучателя можно применить излучатель ЗП-3. Питание устройства производится от напряжения 5—12 В. Это позволяет питать его даже от гальванических батарей, что делает возможным использование его в разных местах, в том числе и в ванной.

Основная область применения микросхемы TL434, конечно же, блоки питания. Но, как видим, только этим возможности микросхемы не ограничиваются.

## 5.7. Простой терморегулятор

### Назначение

Еще одно необычное применение регулируемого стабилизатора TL431 — простой терморегулятор. Всем, кто когда-нибудь занимался ремонтом современных блоков питания компьютеров или различных зарядных устройств — для сотовых телефонов, для зарядки «пальчиковых» аккумуляторов типоразмера ААА и АА, хорошо известна маленькая деталька — TL431. Это так называемый **регулируемый стабилизатор** (отечественный аналог КР142ЕН19А). Вот уж тут воистину можно сказать: «Мал золотник, да дорог».

## Принцип действия

Логика работы стабилитрона такова: когда на управляющем электроде напряжение превышает 2,5 В (задается внутренним опорным напряжением) стабилитрон, по сути дела являющийся микросхемой, открыт. В этом состоянии через него и нагрузку протекает ток. Если же это напряжение становится чуть меньше указанного порога, стабилитрон закрывается и отключает нагрузку.

При работе такого стабилитрона в источниках питания в качестве нагрузки чаще всего используется излучающий светодиод оптрона, управляющего силовым транзистором. Это в тех случаях, когда необходима гальваническая развязка первичной и вторичной цепей.

Если такой развязки не требуется, то стабилитрон может управлять непосредственно силовым транзистором. Выходная мощность стабилитрона-микросхемы такова, что с его помощью можно управлять маломощным реле. Именно это позволило применить его в конструкции терморегулятора.

В предлагаемой конструкции стабилитрон используется в качестве **компаратора**. При этом у него только один вход: второго входа для подачи опорного напряжения не требуется, так как оно вырабатывается внутри данной микросхемы. Такое решение позволяет предельно упростить конструкцию и уменьшить количество деталей.

Теперь, как в описании любой конструкции, следует сказать несколько слов о деталях и, собственно, о принципе работы данного терморегулятора. Схема терморегулятора показана на **рис. 5.36**.

Напряжение на управляющем электроде 1 задается с помощью делителя R1, R2 и R4. В качестве R4 используется терморезистор с отрицательным ТКС, поэтому при нагревании его сопротивление уменьшается. Когда на выводе 1 напряжение выше 2,5 В микросхема открыта, реле включено.

Контакты реле включают симистор D2, который включает нагрузку. С повышением температуры сопротивление терморезистора падает, за счет чего напряжение на выводе 1 становится ниже 2,5 В — реле отключается, отключается нагрузка. С помощью переменного резистора R1 производится настройка температуры срабатывания терморегулятора.

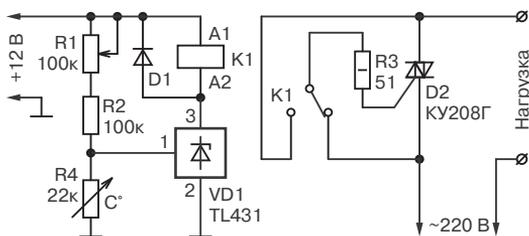


Рис. 5.36. Схема простого терморегулятора

Датчик температуры должен быть расположен в зоне измерения температуры: если это, например, электрочайник, то датчик должен быть закреплен на трубе, выходящей из котла.

Включение симистора с помощью реле обеспечивает гальваническую развязку терморезистора от сети.

Терморезистор типа КМТ, ММТ, СТ1. В качестве реле возможно применение РЭС-55А с обмоткой на 10—12 В. Симистор КУ208Г позволяет включить нагрузку до 1,5 кВт. Если нагрузка не более 200 Вт, то симистор может работать без применения радиатора.

## 5.8. Повышающий регулятор мощности для паяльника

### Назначение

Иногда при пониженном напряжении в сети или пайке массивных деталей пользоваться паяльником становится просто невозможно. Вот тут на помощь и может прийти повышающий регулятор мощности для паяльника.

Есть множество руководств и статей как выполнить качественную пайку. Кроме применения качественных флюсов и припоев качество пайки в немалой степени зависит от температуры паяльника.

Известно множество схем регуляторов мощности паяльника: от простейшего включения диода последовательно с паяльником до весьма сложных устройств, стабилизирующих температуру. Но, к сожалению, все подобные устройства могут работать только на понижение мощности, т. е. регулирование мощности происходит от 0—100% или 50—100%.

Но иногда мощности паяльника не хватает, например, когда напряжение в сети ниже, чем 220 В, либо требуется прогреть большие детали. Чаще такое случается при выпаивании деталей из старых плат. Для подобных случаев просто незаменим регулятор мощности описанный ниже.

Идея сама по себе не новая: нагрузка (паяльник) питается выпрямленным сетевым напряжением, которое, после сглаживания электролитическим конденсатором, имеет величину в 1,41 раза больше, чем действующее напряжение сети. При напряжении в сети 220 В выпрям-

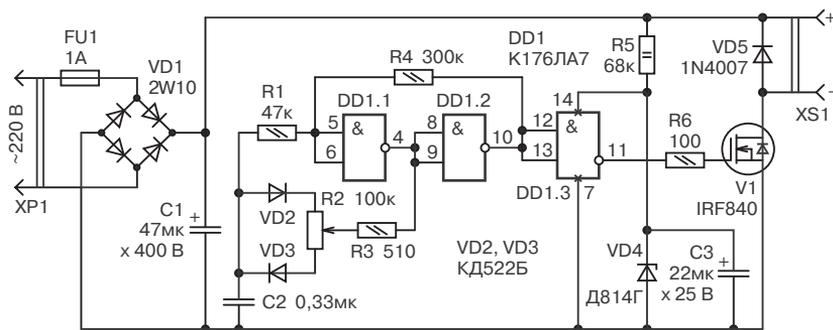


Рис. 5.37. Схема повышающего регулятора мощности для паяльника

ленное постоянное напряжение на конденсаторе будет 310 В. Даже, если напряжение в сети упадет до 170 В, после выпрямителя будет  $170 \times 1,41 = 239,7$  В, что позволит нагреть паяльник до оптимальной температуры.

Схема повышающего регулятора мощности для паяльника показана на рис. 5.37.

### Описание схемы регулятора мощности

Входной выпрямитель выполнен на мосте VD1 и электролитическом конденсаторе C1, рабочее напряжение которого должно быть не менее 400 В.

Выходной каскад регулятора выполнен на ключевом полевом транзисторе IRF840, мощности которого вполне достаточно, чтобы даже без радиатора работать с паяльником до 65 Вт. На практике замечено, что паяльники большой мощности в подобном повышающем регуляторе не нуждаются. Даже при пониженном напряжении в сети они нагреваются выше необходимой температуры.

Управление ключевым транзистором производится от ШИМ генератора, выполненного на микросхеме DD1. Конденсатор C2 задает частоту генератора.

На деталях R5, VD4, C3 выполнен стабилизатор параметрического типа, от которого питается микросхема DD1.

Диод VD5 установлен на случай включения нагрузки, имеющей индуктивный характер, чтобы защитить выходной транзистор от выбросов напряжения самоиндукции. Если конструкция будет использоваться только с паяльником, то его можно не ставить.

### **Конструкция и детали повышающего регулятора мощности для паяльника**

Конструкция регулятора произвольная, например, можно выполнить навесным монтажом прямо в корпусе розетки. В этом случае детали должны быть малогабаритными.

Все резисторы мощностью 0,125 Вт, за исключением R5, мощность которого не менее двух ватт. Возможно, при настройке его номинал придется подобрать так, чтобы напряжение питания микросхемы было 11—12 В.

#### **Возможные замены деталей**

Выпрямительный мостик можно выполнить из диодов на ток не менее 2 А, микросхему можно заменить на К561ЛА7. В качестве выходного транзистора вполне подойдет IRF740.

При исправных деталях и отсутствии ошибок в монтаже схема регулятора мощности паяльника в наладке не нуждается.

## **5.9. Простой регулятор мощности для плавного включения ламп, собранный на микросхеме КР1182ПМ1**

### **Назначение**

Регуляторы мощности находят широкое применение. Самым простейшим из них можно считать обычный диод, включенный последовательно с нагрузкой. Такое «регулирование» чаще всего применяется в двух случаях: как средство продления жизни лампы накаливания (обычно на лестничных площадках в подъездах) и для предотвращения перегрева паяльника. В остальных случаях регуляторы служат для изменения мощности в нагрузке в широких пределах.

Конструкций регуляторов достаточно много: от самых простых до весьма сложных. Одним из способов создания простых, надежных и многофункциональных регуляторов стало создание специализированной микросхемы КР1182ПМ1.

### Специализированная микросхема КР1182ПМ1

Микросхема КР1182ПМ1 представляет фазовый регулятор, конструктивно выполненный в корпусе конструкции POWER-DIP. Корпус — шестнадцатывыводный, шаг выводов — метрический. Выводы 4, 5 и 12, 13 — не используются, хотя внутри микросхемы они соединены с кристаллом механически. Их назначение состоит в отведении тепла от кристалла. Также не используются для подключения выводы 1, 2 и 7, 8. Чертеж корпуса микросхемы показан на рис. 5.38.

Область применения микросхемы КР1182ПМ1 очень широка. **Во-первых**, это управление работой ламп накаливания, предусматривающее как собственно регулирование мощности, так и обеспечение плавного включения и отключения.

**Во-вторых**, КР1182ПМ1 с успехом применяется для регулирования частоты вращения электродвигателей.

И, **в-третьих**, для управления мощными тиристорами и симисторами, что дает возможность увеличения мощности нагрузки. Без подключения внешних тиристоров микросхема может коммутировать мощность не более 150 Вт, что, согласитесь, не так уж и мало при таких размерах.

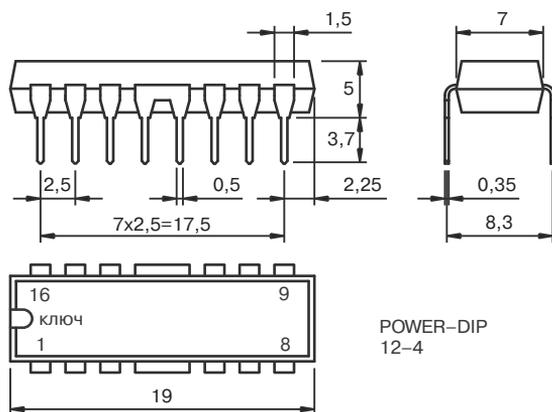


Рис. 5.38. Корпус микросхемы POWER-DIP

### Схема просто регулятора мощности

На рис. 5.39 показана схема просто регулятора мощности, управляемого от руки. В этом случае лучше всего в качестве регулирующего резистора применить переменный резистор с выключателем.



#### Это интересно знать.

Резистор следует включить таким образом, чтобы при выключенном SA1 его сопротивление было минимальным.

Таким образом, при включении и вращении резистора R1 мощность будет изменяться от нуля до максимума. Подобный регулятор подойдет для регулирования яркости светильника, нагрева паяльника, частоты вращения бытового вентилятора.

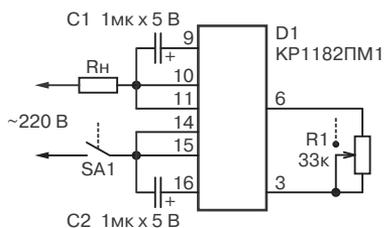


Рис. 5.39. Регулятор мощности на микросхеме KP1182PM1

### Параллельное включение двух микросхем KP1182PM1

Как уже было сказано выше, мощность, коммутируемая одной микросхемой KP1182PM1 не превышает 150 Вт. Если есть необходимость в увеличении мощности устройства, можно применить параллельное включение двух микросхем KP1182PM1, как показано на рис. 5.40. Такое подключение дает возможность управлять нагрузкой мощностью не менее 300 Вт.

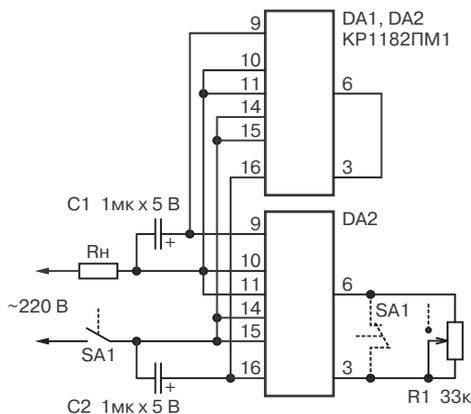


Рис. 5.40. Параллельное включение микросхем KP1182PM1

Проще всего такое подключение осуществить, напаяв микросхемы в «два этажа», — дополнительная микросхема просто припаивается к той, что уже установлена на печатной плате. При этом никакой переделки самой платы не требуется.

### Увеличение мощности схемы с помощью подключения нагрузки через симистор

Если мощность нагрузки такова, что даже параллельное включение микросхем с ней не справится, то мощность регулятора можно значительно увеличить с помощью подключения нагрузки через симистор. В этом случае микросхема управляет лишь симистором, а последний — управляет собственно нагрузкой. Схема такого подключения показана на рис. 5.41.

Как и в предыдущем случае, в качестве регулирующего элемента применен переменный резистор R1, совмещенный с выключателем

SA1. Только подключение его несколько иное. Отключение нагрузки происходит, когда контактная группа SA1 замыкает контакты 3 и 6 микросхемы. Соответственно, в этом положении резистор R1 должен иметь минимальное сопротивление.

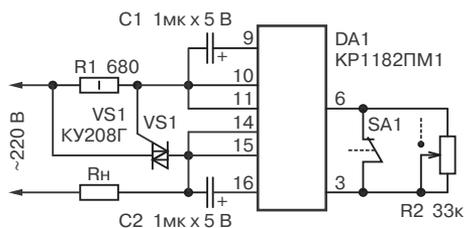


Рис. 5.41. Подключение мощной нагрузки через симистор



#### Это интересно знать.

*Тут уместно сделать такое напоминание, — запомните, что если контакты микросхемы 3 и 6 замкнуты, то нагрузка будет отключена!*

На этом область применения микросхемы KP1182PM1 далеко не заканчивается! Вместо простого контакта, замыкающего 3 и 6 выходы можно подключить фототранзистор, — получится **сумеречный выключатель с плавным включением**. Если к этим выводам подключить транзисторный оптрон, появляется возможность стабилизации переменного напряжения либо управления от устройства на микроконтроллере. Всех возможностей просто не перечислить.

Далее будет рассмотрена схема плавного запуска трехфазного двигателя, выполненная на базе микросхем KP1182PM1.

## 5.10. Схема плавного запуска трехфазного двигателя, выполненная на базе микросхем KP1182PM1

### Устройства плавного пуска электродвигателя

Плавный пуск электродвигателя в последнее время применяется все чаще. Области его применения разнообразны и многочисленны. Это промышленность, электротранспорт, коммунальное и сельское хозяйство. Применение подобных устройств позволяет значительно снизить пусковые нагрузки на электродвигатель и исполнительные механизмы, тем самым, продлив срок их службы.

Пусковые токи достигают значений в 7—10 раз выше, чем в рабочем режиме. Это приводит к «просаживанию» напряжения в питающей сети, что отрицательно сказывается не только на работе остальных потребителей, но и самого двигателя. Время пуска затягивается, что может привести к перегреву обмоток и постепенному разрушению их изоляции. Это способствует преждевременному выходу электродвигателя из строя.

Устройства плавного пуска позволяют значительно снизить пусковые нагрузки на электродвигатель и электросеть, что особенно актуально в сельской местности либо при питании двигателя от автономной электростанции.

В момент запуска двигателя момент на его валу очень нестабилен и превышает номинальное значение более чем в пять раз. Поэтому пусковые нагрузки исполнительных механизмов также повышены по сравнению с работой в установившемся режиме и могут достигать до 500 процентов. Нестабильность момента при пуске приводит к ударным нагрузкам на зубья шестерен, срезанию шпонок и иногда даже к скручиванию валов.

Устройства плавного пуска электродвигателя значительно уменьшают пусковые нагрузки на механизм: плавно выбираются зазоры между зубьями шестерен, что препятствует их поломке. В ременных передачах также плавно натягиваются приводные ремни, что уменьшает износ механизмов.

Кроме плавного пуска на работе механизмов благотворно сказывается режим плавного торможения. Если двигатель приводит в движение насос, то плавное торможение позволяет избежать гидравлического удара при выключении агрегата.

### **Устройства плавного пуска промышленного изготовления**

Устройства плавного пуска в настоящее время выпускается многими фирмами, например, Siemens, Danfoss, Schneider Electric. Такие устройства обладают многими функциями, которые программируются пользователем. Это время разгона, время торможения, защита от перегрузок и множество других дополнительных функций.

При всех достоинствах фирменные устройства обладают одним недостатком, — достаточно высокой ценой. Вместе с тем можно создать подобное устройство самостоятельно. Стоимость его при этом получится небольшой.

### Устройство плавного пуска на микросхеме КР1182ПМ1

В предыдущем разделе рассказывалось о **специализированной микросхеме КР1182ПМ1**, представляющей фазовый регулятор мощности. Были рассмотрены типовые схемы ее включения, устройства плавного запуска ламп накаливания и просто регуляторы мощности в нагрузке. На основе этой микросхемы возможно создание достаточно простого устройства плавного пуска трехфазного электродвигателя. Схема устройства показана на **рис. 5.42**.

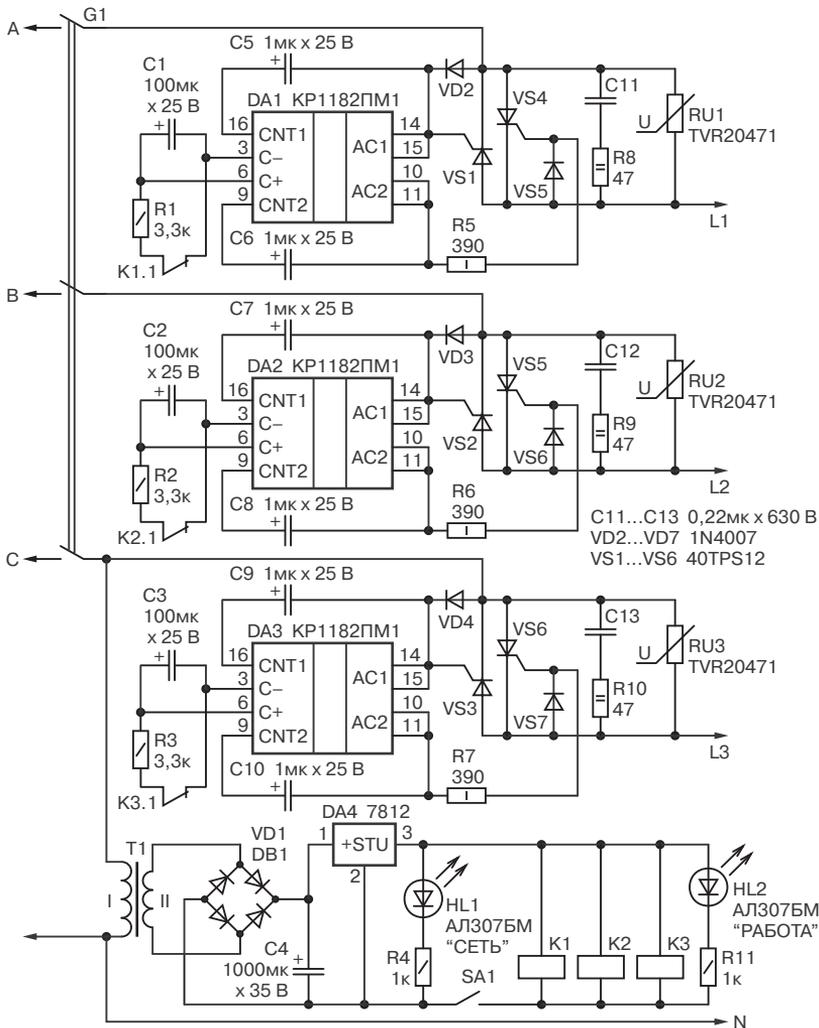


Рис. 5.42. Схема устройства плавного пуска двигателя

Плавный пуск осуществляется при помощи постепенного увеличения напряжения на обмотках двигателя от нулевого значения до номинального. Это достигается за счет увеличения угла открывания тиристорных ключей за время, называемое временем запуска.

### Описание схемы

В конструкции используется трехфазный электродвигатель 50 Гц, 380 В. Обмотки двигателя, соединенные «звездой», подключаются к выходным цепям, обозначенным на схеме как L1, L2, L3. Средняя точка «звезды» подключается к сетевой нейтрали (N).

Выходные ключи выполнены на тиристорах, включенных встречно-параллельно. В конструкции применены импортные тиристоры типа 40TPS12. При небольшой стоимости они обладают достаточно большим током — до 35 А, а их обратное напряжение — 1200 В. Кроме них в ключах присутствуют еще несколько элементов. Их назначение следующее: демпфирующие RC-цепочки, включенные параллельно тиристорам, предотвращают ложные включения последних (на схеме это R8C11, R9C12, R10C13), а с помощью варисторов RU1—RU3 поглощаются коммутационные помехи, амплитуда которых превышает 500 В.

В качестве управляющих узлов для выходных ключей используются микросхемы DA1—DA3 типа KP1182ПМ1. Конденсаторы C5—C10 внутри микросхемы формируют пилообразное напряжение, которое синхронизировано сетевым. Сигналы управления тиристорами в микросхеме формируются путем сравнения пилообразного напряжения с напряжением между выводами микросхемы 3 и 6.

Для питания реле K1—K3 в устройстве имеется блок питания, который состоит всего из нескольких элементов. Это трансформатор T1, выпрямительный мостик VD1, сглаживающий конденсатор C4. На выходе выпрямителя установлен интегральный стабилизатор DA4 типа 7812 обеспечивающий на выходе напряжение 12 В, и защиту от коротких замыканий и перегрузок на выходе.

### Описание работы устройства плавного пуска электродвигателей

Сетевое напряжение на схему подается при замыкании силового выключателя Q1. Однако, двигатель еще не запускается. Это происходит потому, что обмотки реле K1—K3 пока обесточены, и их нормально-замкнутые контакты шунтируют выводы 3 и 6 микро-

схем DA1—DA3 через резисторы R1—R3. Это обстоятельство не дает заряжаться конденсаторам C1—C3, поэтому управляющие импульсы микросхемы не вырабатывают.

**Пуск устройства в работу.** При замыкании тумблера SA1 напряжение 12 В включает реле K1—K3. Их нормально-замкнутые контакты размыкаются, что обеспечивает возможность зарядки конденсаторов C1—C3 от внутренних генераторов тока.

Вместе с увеличением напряжения на этих конденсаторах увеличивается и угол открывания тиристоров. Тем самым достигается плавное увеличение напряжения на обмотках двигателя. Когда конденсаторы зарядятся полностью, угол включения тиристоров достигнет максимальной величины, и частота вращения электродвигателя достигнет номинальной.

**Отключение двигателя, плавное торможение.** Для выключения двигателя следует разомкнуть выключатель SA1. Это приведет к отключению реле K1—K3. Их нормально-замкнутые контакты замкнутся, что приведет к разряду конденсаторов C1—C3 через резисторы R1—R3. Разряд конденсаторов будет длиться несколько секунд, за это же время произойдет останов двигателя.

**При пуске двигателя** в нулевом проводе могут протекать значительные токи. Это происходит от того, что в процессе плавного разгона токи в обмотках двигателя несинусоидальные, но особо бояться этого не стоит: процесс пуска достаточно кратковременный. В установившемся же режиме этот ток будет много меньше (не более десяти процентов тока фазы в номинальном режиме), что обусловлено лишь технологическим разбросом параметров обмоток и «перекосом» фаз. От этих явлений избавиться уже невозможно.

### Детали и конструкция

Для сборки устройства необходимы следующие детали. Трансформатор мощностью не более 15 Вт, с напряжением выходной обмотки 15—17 В.

В качестве реле K1—K3 подойдут любые реле с напряжением катушки 12 В, имеющие нормально-замкнутый или переключающий контакт, например, TRU-12VDC-SB-SL.

Конденсаторы C11—C13 типа K73-17 на рабочее напряжение не менее 600 В.

Устройство выполнено на печатной плате. Собранное устройство следует поместить в пластмассовый корпус подходящих размеров, на лицевой панели которого поместить выключатель SA1 и светодиоды HL1 и HL2.

### Подключение двигателя

Подключение выключателя Q1 и двигателя выполняется проводами, сечение которых соответствует мощности последнего. Нулевой провод выполняется тем же проводом, что и фазные. При указанных на схеме номиналах деталей возможно подключение двигателей мощностью до четырех киловатт.

Если предполагается использовать двигатель мощностью не более полутора киловатт, а частота пусков не будет превышать 10—15 в час, то мощность, рассеиваемая на тиристорных ключах незначительна, поэтому радиаторы можно не ставить.

Если же предполагается использовать более мощный двигатель или запуски будут более частыми, потребуется установка тиристорных радиаторов, изготовленные из алюминиевой полосы. Если же радиатор предполагается использовать общий, то тиристоры следует изолировать от него при помощи слюдяных прокладок. Для улучшения условий охлаждения можно воспользоваться теплопроводящей пастой КПТ-8.

### Проверка и наладка устройства

Перед включением, прежде всего, следует проверить монтаж на соответствие принципиальной схеме. Это основное правило, и отступать от него нельзя. Ведь пренебрежение этой проверкой может привести к куче обугленных деталей, и надолго отбить охоту делать «опыты с электричеством». Найденные ошибки следует устранить, ведь все же эта схема питается от сети, а с нею шутки плохи. И даже после указанной проверки подключать двигатель еще рано.

Сначала следует вместо двигателя подключить три одинаковых лампы накаливания, мощностью 60—100 Вт. При испытаниях следует добиться, чтобы лампы «разжигались» равномерно.

Неравномерность времени включения обусловлена разбросом емкостей конденсаторов C1—C3, которые имеют значительный допуск

по емкости. Поэтому лучше перед установкой сразу подобрать их с помощью прибора, хотя бы с точностью процентов до десяти.

Время выключения обусловлено еще сопротивлением резисторов R1—R3. С их помощью можно выровнять время выключения. Эти настройки следует выполнять в том случае, если разброс времени включения — выключения в разных фазах превышает 30 процентов.

Двигатель можно подключать лишь после того, как вышеуказанные проверки прошли нормально, не сказать бы даже отлично.

### Что можно еще добавить в конструкцию

Выше уже было сказано, что такие устройства в настоящее время выпускаются разными фирмами. Конечно, все функции фирменных устройств в подобном самодельном повторить невозможно, но одну все-таки, скопировать, наверно, удастся.

Речь идет о так называемом шунтирующем контакторе. Назначение его следующее: после того, как двигатель достиг номинальных оборотов, контактор просто переключает тиристорные ключи своими контактами. Ток идет через них в обход тиристорных. Такую конструкцию часто называют байпасом (от английского *bypass* — обход). Для такого усовершенствования придется ввести дополнительные элементы в блок управления.

## 5.11. Простой преобразователь 12 В в 220 В 50 Гц

### Назначение и схемы-предшественники

Вот уже много лет на страницах радиотехнических изданий публикуются схемы, позволяющие от автомобильного аккумулятора получить переменное напряжение 220 В для питания различной аппаратуры в «полевых» условиях.

Схемотехника таких преобразователей достаточно проста: задающий генератор управляет работой мощных выходных транзисторов, «раскачивающих» выходной трансформатор. Генератор, как правило, выполнялся на микросхемах малой степени интеграции K155, K561 и им подобных и содержал от двух до четырех корпусов.

Для согласования мощных выходных транзисторов с этими микросхемами приходилось вводить дополнительные каскады на транзисто-

рах малой и средней мощности. Выходные транзисторы, в качестве которых использовались чаще всего КТ819ГМ, приходилось ставить на достаточно большой радиатор.

### Принципиальная схема

Современная элементная база позволяет существенно упростить подобные схемы. Предлагаемая схема, по сравнению с конструкциями, описанными выше, содержит минимальное количество деталей.

В качестве задающего генератора используется специализированная микросхема КР1211ЕУ1. Кстати, микросхема отечественная и импортных аналогов у нее нет.

В качестве выходных ключей используются мощные полевые транзисторы IRL2505, которые часто применяются в различных автомобильных устройствах.

КР1211ЕУ1 имеет два выхода — прямой и инверсный. Это выводы 4 и соответственно 6. Уровень сигнала на этих выходах достаточен для непосредственного управления выходными транзисторами: транзисторы открываются импульсами высокого уровня. Причем между ними самой микросхемой формируется пауза (низкий уровень), которая на некоторый промежуток времени, иногда его называют «мертвым временем», удерживает оба транзистора в закрытом состоянии. Это сделано для того, чтобы исключить появление сквозного тока при открытии обоих ключей сразу. Схема преобразователя 12 В в 220 В 50 Гц показана на рис. 5.43.

Необходимая частота генератора задается цепочкой R1, C1, цепь R2, C2 используется в качестве пусковой.

Вывод 1 микросхемы позволяет отключить генерацию импульсов, для чего на него следует подать высокий уровень. Это свойство можно использовать для дистанционного управления или для защиты. В дан-

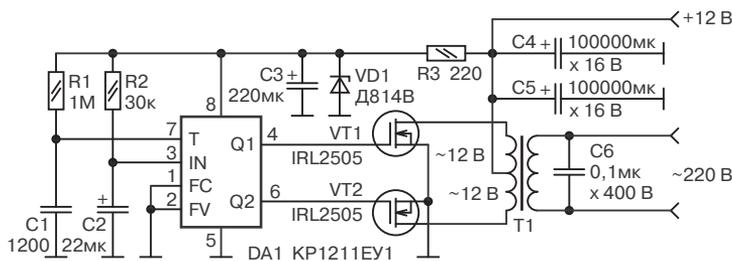


Рис. 5.43. Электрическая принципиальная схема преобразователя 12 В в 220 В 50 Гц

ной схеме эти функции не используются, поэтому вывод 1 просто соединен с общим проводом.

Выходной двухтактный каскад выполнен на трансформаторе Т1 и ключевых транзисторах VT1, VT2, в качестве которых используются IRL2505. Сопротивление открытого канала этих транзисторов 0,008 Ом. Это соизмеримо с сопротивлением механических контактов, поэтому мощность, рассеиваемая транзистором в открытом состоянии невелика, даже при больших токах, что позволяет в ряде случаев отказаться от применения радиаторов.

Постоянный ток IRL2505 до 104 А, импульсный — 360 А. Такие параметры позволяют применить выходной трансформатор мощностью до 1000 Вт, при котором можно снять в нагрузку до 400 Вт при напряжении 220 В.

**Достоинством** данного преобразователя является то, что можно применить любой готовый трансформатор, у которого есть две выходные обмотки на 12 В. Мощность трансформатора зависит от нагрузки и должна быть в 2,5 раза выше: предположим, что мощность нагрузки 30 Вт. Тогда мощность трансформатора должна быть не менее  $30 \times 2,5 = 75$  Вт.

При выходной мощности не более 200 Вт транзисторы можно на радиаторы не ставить.

### О деталях

Микросхема А1 получает питание от параметрического стабилизатора R3, VD1, С3. В качестве стабилитрона VD1 подойдет любой с напряжением стабилизации 8—10 В.

Электролитические конденсаторы импортные. Если нет конденсаторов на 10000 мкФ (С4, С5), их можно заменить конденсаторами емкостью 4700 мкФ, включив их параллельно.

Конденсатор С6 служит для подавления на выходе высокочастотных импульсов. Он может быть типа К-73-17 или подобный ему импортный.



#### **Будьте осторожны.**

*При монтаже не следует забывать о том, что уже при мощности в 400 Вт ток, потребляемый от аккумулятора по цепи 12 В, может достигать 40 А, поэтому провода для присоединения к аккумулятору должны быть достаточно сечения и минимально возможной длины.*

## 5.12. Ступенчатый регулятор напряжения, поддерживающий сетевое напряжение в пределах 190—242 В

### Стабилизаторы сетевого напряжения

Известно, что напряжение в отечественных электросетях часто выходит за границы допуска. Во времена ламповых телевизоров были очень распространены феррорезонансные стабилизаторы. Современные телевизоры работоспособны при изменениях входного напряжения в пределах 110—260 В.

То же можно сказать о компьютерах, проигрывателях компакт-дисков и, вообще, обо всей аппаратуре, в которой применяются импульсные источники питания. А вот для техники, питающейся непосредственно из сети, пределы изменения напряжения намного меньше.

Ярким примером такой техники является холодильник, электрическая кофемолка, кухонный комбайн, паяльник, лампа накаливания. Конечно, такой точности стабилизации напряжения как для ламповых телевизоров, таким устройствам не надо, поэтому вполне возможно применение устройства, регулирующего напряжение ступенчато. Подобный регулятор и будет описан в этом разделе.

### Ступенчатое регулирование напряжения

При всей простоте конструкции регулятор обладает следующими данными: при изменении входного сетевого напряжения в интервале 150—260 В выходное поддерживается в пределах 187—242 В. В таком диапазоне работоспособны многие бытовые электроприборы. В том варианте, в каком приведена схема в статье, мощность регулятора достигает 275 Вт, что вполне достаточно для нормальной работы, например, холодильника.

Подобный же способ ступенчатого регулирования напряжения применяется в некоторых моделях бесперебойных источников питания для компьютеров: когда бесперебойник работает от сети, можно услышать, как в нем щелкают реле. Это как раз производится грубая регулировка выходного напряжения.

В этом режиме трансформатор бесперебойника используется в качестве автотрансформатора. В случае пропадания сетевого напря-

жения трансформатор переключается в режим преобразователя и работает от аккумулятора.

Известно, что трансформатор, включенный в режиме автотрансформатора, может работать с нагрузкой почти в пять раз превышающей его мощность. В данной конструкции применен трансформатор мощностью всего 57 Вт. Поэтому при необходимости увеличения мощности всего регулятора в целом, достаточно лишь заменить трансформатор на более мощный.

Конечно, сейчас промышленностью выпускаются сетевые стабилизаторы на основе ЛАТРА (об электронных тут говорить не будем). В подобных устройствах микромотор с редуктором, управляемый, конечно, электронной схемой, приводит в движение подвижный контакт.

Надежность такого устройства, наверно будет невелика. Примером подобного устройства может служить стабилизатор напряжения Ресанта латвийского производства. Отзывы о нем можно почитать в Интернете.

### Описание электрической схемы регулятора

Схема предлагаемого варианта регулятора показана на рис. 5.44. Основой регулятора является унифицированный понижающий трансформатор Т1. Он включен по схеме автотрансформатора. Кроме трансформатора схема содержит:

- ♦ выпрямитель для питания электронной части схемы;
- ♦ два пороговых устройства;
- ♦ узел включения выходного напряжения.

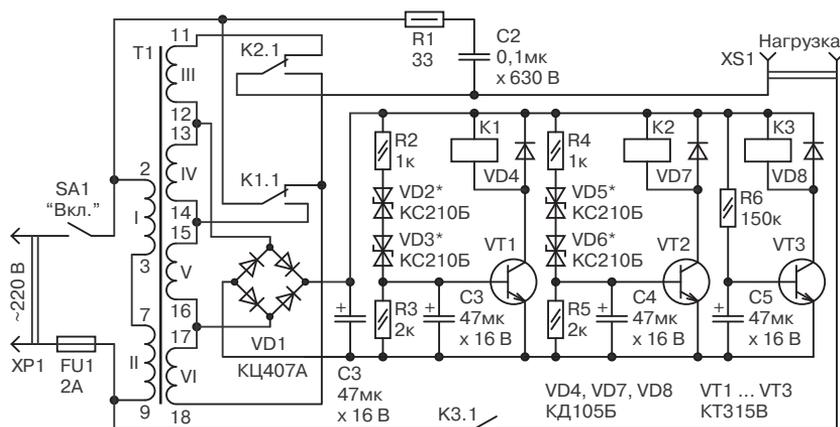


Рис. 5.44. Схема регулятора напряжения

Последний обеспечивает некоторую задержку появления напряжения на выходе. Это необходимо для того, чтобы устройство успело войти в рабочий режим.

При коммутации вторичных обмоток неизбежно возникновение помех, от которых обгорают контакты реле. Для защиты от этого явления служит цепочка, состоящая из резистора R1 и конденсатора C2.

**Электронная часть устройства** получает питание от нестабилизированного выпрямителя, состоящего из диодного моста VD1 и сглаживающего конденсатора C1. Конденсаторы C3 и C4, установленные в пороговых устройствах, предназначены для устранения кратковременных изменений (выбросов) выпрямленного напряжения. Это же напряжение используется для контроля сетевого напряжения.

На транзисторе VT3 и элементах C5, R6 собран **таймер задержки включения**. Также устройство содержит два пороговых устройства, конструкция которых аналогична.

Первое пороговое устройство выполнено на транзисторе VT1, резисторах R2, R3, стабилитронах VD2, VD3, и конденсаторе C3. Реле K1 включено в коллекторную цепь транзистора VT1. Для защиты транзистора от напряжения самоиндукции катушка реле зашунтирована диодом VD4.

Контакты реле K1 переключают обмотки трансформатора T1 при срабатывании порогового устройства. Конденсатор C3 предназначен для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения, а также устранения помех. По такой же схеме собрано и второе пороговое устройство. Оно состоит из элементов VT2, VD4, VD5, R4, R5, C4, реле K2.

**Работу регулятора** удобно рассматривать по частям. При включении устройства на конденсаторе C1 появляется напряжение, которое начинает заряжать конденсатор C5. С задержкой около двух секунд открывается транзистор VT3, включается реле K3, и в нагрузку подается напряжение.

**Сетевое напряжение понижено.** В том случае, когда напряжение в сети менее 190 В не сработает ни одно пороговое устройство и контакты реле K1 и K2 находятся в том положении, как показано на схеме. В этом случае к нагрузке будет подано сетевое напряжение и плюс к нему напряжение с обмоток III и VI. Если напряжение сети в этот момент будет 150 В, на нагрузке будет не менее 190 В.

**Сетевое напряжение почти в норме.** Если сетевое напряжение будет в диапазоне 190—220 В, выходное напряжение выпрямителя достаточно для открытия стабилитронов VD2, VD3. Это приведет к

открытию транзистора VT1, поэтому сработает реле K1. Если проследить по схеме, то можно увидеть, что в этом случае подключатся обмотки III и IV.

**Сетевое напряжение повышено.** В случае, когда сетевое напряжение превысит 220 В, произойдет срабатывание реле K2, которое своими контактами подключит обмотки V и IV. Эти обмотки включены противофазно, поэтому выходное напряжение уменьшится.

### Детали и конструкция регулятора напряжения

Почти все детали можно смонтировать на печатной макетной плате проводным монтажом. В конструкции можно применить резисторы типа МЛТ или импортные. Оксидные конденсаторы лучше также импортные, сейчас их, наверно, проще купить, чем отечественные. Да и качество у них лучше.

Диодный мостик можно заменить дискретными диодами, например, 1N4007. Транзисторы подойдут любые маломощные с напряжением коллектор-эмиттер не менее 30 В и током, достаточным для срабатывания реле. Кроме указанных, на схеме подойдут КТ645, КТ503, КТ972 с любым буквенным индексом.

Вместо указанных на схеме двуханодных стабилитронов возможно применение обычных Д810—Д814. Перед установкой их следует подобрать по напряжению в соответствии со значениями, указанными на схеме.

В качестве реле лучше применить импортные (Tianbo, Trl, Trk и подобные, их тоже сейчас проще и дешевле купить) с катушкой на 24 В. Контакты реле должны быть рассчитаны на ток не менее 1,5 А. Многие такие реле, при весьма малых габаритах, имеют контакты, рассчитанные на ток 10—16 А.

В качестве трансформатора применен унифицированный ТПП270-127/220-50. Номинальная мощность такого трансформатора 57 Вт.

### Наладка устройства

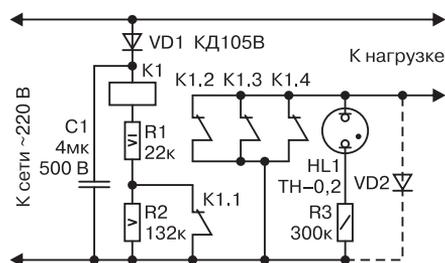
Для наладки регулятор подключают к выходу ЛАТРа. Для того чтобы учесть реакцию трансформатора на нагрузку, последнюю подключают к выходу устройства. Изменяя напряжение на входе регулятора, надо настроить пороговые устройства. Это следует делать подборкой стабилитронов с различными напряжениями стабилизации.

Для более точной настройки последовательно со стабилитронами можно включить кремниевые или германиевые диоды. При этом следует помнить, что прямое напряжение кремниевых диодов — около 0,7 В, а германиевых — 0,4 В.

### 5.13. Устройство защиты от превышения напряжения

В ветреных районах страны на воздушных линиях электропередач случаются аварийные захлесты проводов, их касания и обрывы, из-за чего напряжение в домашних и производственных сетях может повышаться с 220 до 380 В. Несмотря на кратковременность таких ситуаций, часто выходят из строя лампы накаливания, некоторые нагревательные приборы, радиотелеаппаратура и др. Этого желательно избегать.

Так, *В. Солоненко, Е. Алешин* (с. Генгорка) разработали простое устройство защиты от превышения напряжения. При увеличении напряжения в сети до 280 В оно автоматически отключает нагрузку и вновь ее включает, как только уменьшится до 240 В. Принципиальная схема устройства приведена на **рис. 5.45**.



**Рис. 5.45.** Принципиальная схема устройства защиты от превышения напряжения

Нагрузка подключена через замкнутые контакты K1.2—K1.4 реле K1. Резистор K1 подобран так, чтобы реле сработало при напряжении в сети 280 В. После срабатывания реле обесточивается нагрузка и включается сигнальная лампа HL1.

Контакты K1.1, размыкаясь, подключают в цепь питания реле еще и резистор R2. При этом ток через обмотку реле уменьшается, но реле удерживает якорь.

Когда напряжение в сети пойдет на убыль, при некотором его значении реле отпустит якорь, включив нагрузку.

Это значение устанавливается подбором резистора R2. Конденсатор C1 создает некоторую временную задержку на срабатывание и отпущение реле, необходимую для того, чтобы очень кратковременные изменения напряжения в сети не вызывали срабатывания автомата.

Реле нужно выбирать в соответствии:

- ♦ с напряжением сети (по напряжению срабатывания);
- ♦ мощностью нагрузки (по допустимому току через контакты).

Авторы разработки использовали реле МКУ48 (паспорт РУД.509.146), у которого они контактную систему разобрали и снова собрали так, чтобы получить замкнутые пары.



#### Совет.

*Желательно, чтобы контакты К1.1 при срабатывании размыкались как можно позже, а зазор между ними не превышал 0,7 мм. Если автомат установлен в цепи дежурной лампы накаливания (в местах, где отсутствие освещения крайне нежелательно), параллельно контактам К1.2—К1.4 следует включить диод VD2 на соответствующее обратное напряжение и выпрямляемый ток.*

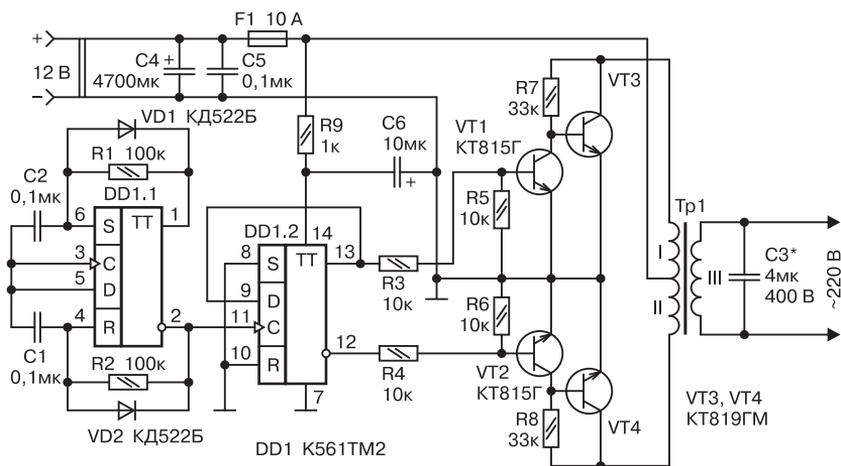
Тогда при возникновении аварийного повышения в сети и срабатывании автомата лампа будет питаться пульсирующим током, обеспечивая бесперебойное освещение.

## 5.14. Мощный преобразователь напряжения автомобильного аккумулятора в переменное напряжение 220 В

А мощный преобразователь напряжения автомобильного аккумулятора в переменное напряжение 220 В будет полезен для питания бытовых приборов в случае выезда на природу или при отсутствии напряжения в сети из-за ее обрыва и прочих аварийных ситуаций ([www.gaw.ru/html.cgi/sch/junior/preobr.html](http://www.gaw.ru/html.cgi/sch/junior/preobr.html)).

На рис. 5.46 приведена принципиальная схема мощного преобразователя для питания бытовых электроприборов (телевизор, дрель, электронасос и т.д.) от автомобильного аккумулятора. Преобразователь обеспечивает выходное напряжение 220 В, 50 Гц на нагрузке мощностью до 100 Вт. При максимальной нагрузке потребляемый от аккумулятора ток не превышает 10 А.

Количество деталей в устройстве сведено к минимуму. На микросхеме DD1.1 собран задающий генератор с частотой 100 Гц. Точную



**Рис. 5.46.** Мощный преобразователь для питания бытовых электроприборов от автомобильного аккумулятора

настройку частоты (что важно для нормальной работы аппаратуры) осуществляют резисторами R1 и R2. Деление частоты на 2 и управление транзисторами обеспечиваются второй половиной микросхемы — D1.2. Транзисторы VT1, VT2 включены для обеспечения нормального режима работы выходов DD1.2 при максимальном токе нагрузки.



#### Совет.

Выходные транзисторы VT3, VT4 нужно установить на радиаторы, площадь которых не менее 350 см<sup>2</sup>.

Для сглаживания прямоугольных фронтов предназначен конденсатор C3, который вместе с выходной обмоткой и нагрузкой образует резонансную систему. Его емкость сильно зависит от характера нагрузки.

Трансформатор TP1 выполнен на магнитопроводе марки ШЛМ или ПЛМ габаритной мощности 100 Вт. Обмотки I и II содержат по 17 витков провода ПЭВ-2 2,0 мм, обмотка III содержит 750 витков провода ПЭВ-2 0,7 мм.



#### Это интересно знать.

Данную схему очень легко переработать под высокочастотный преобразователь напряжения (частота преобразования ~25 кГц).

Для этого достаточно поднять частоту задающего генератора на DD1.1 до 50 кГц:

- ♦ изменив емкости C1 и C2 на 180 пФ;
- ♦ заменив ТР1 на высокочастотный трансформатор.

Мощность преобразователя зависит от нагрузки выходных транзисторов, максимальный ток, который они могут дать не должен превышать 8 А в плече. Для увеличения тока уменьшается количество витков трансформатора в I и II обмотках до 10. На выходе преобразователя устанавливается диодный мост и ВЧ-фильтр, применяемые в них компоненты должны обеспечивать нормальную работу на частоте 25 кГц.

## 5.15. Преобразователь напряжения 12/220 В, 50 Гц

Устройство, схема которого представлена на рис. 5.47, также преобразует постоянное напряжение 12 В в переменное 220 В, с частотой 50 Гц. Выходная мощность — около 30 Вт. Устройство под нагрузкой потребляет ток около 2,5 А. Схему предложили С. Карлащук и В. Карлащук (г. Москва).

Преобразователь содержит:

- ♦ задающий генератор на частоту 100 Гц на триггере DD1.1;
- ♦ делитель частоты на 2 на триггере DD1.2;
- ♦ предварительный усилитель на транзисторах VT1, VT2;
- ♦ усилитель мощности на транзисторах VT3, VT4, нагруженный трансформатором Т1.

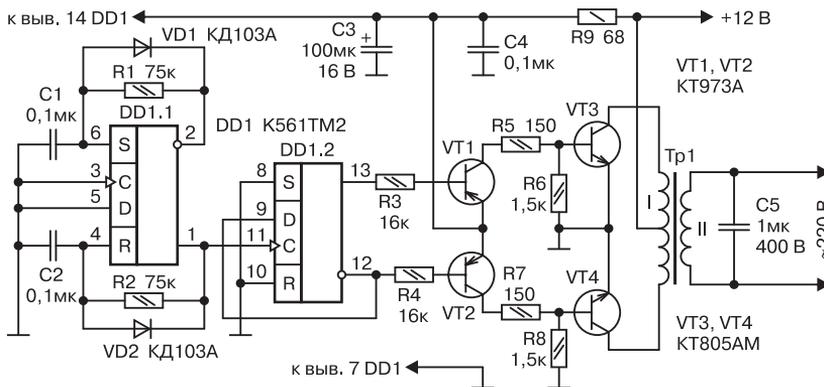


Рис. 5.47. Принципиальная схема преобразователя напряжения 12/220 В, 50 Гц

Задающий генератор обладает высокой стабильностью частоты (не хуже 5 % при изменении питающего напряжения от 6 до 15 В). Делитель частоты одновременно играет роль симметрирующей ступени, позволяя улучшить форму выходного напряжения преобразователя. Вторичная обмотка трансформатора Т1 с конденсатором С5 и нагрузкой образуют колебательный контур с резонансной частотой около 50 Гц.

Рассмотрим возможные замены. Микросхему К561ТМ2 можно заменить на К564ТМ2. Вместо транзисторов КТ973Б можно использовать составной эмиттерный повторитель на транзисторах серий КТ361 и КТ502. Конденсаторы С1 и С2 — КМБП, С3 — КМ5, С4 — К50-6, С5 — МБГО на напряжение не ниже 400 В.



**Это интересно знать.**

*Транзисторы VT3, VT4 следует разместить на радиаторах с полезной площадью около 10 см<sup>2</sup> каждый; при использовании металлических транзисторов такой радиатор не обязателен.*

Трансформатор Т1 можно перемотать из любого сетевого трансформатора мощностью 30—50 Вт:

- ♦ все вторичные обмотки удалить (сетевая будет служить обмоткой II);
- ♦ вместо них намотать две полуобмотки проводом ПЭЛ или ПЭВ-2 1,28, каждая из них с числом витков, соответствующим коэффициенту трансформации около 20 по отношению с оставленной обмоткой на 220 В.

Собранный из исправных деталей преобразователь не требует налаживания, за исключением подборки конденсатора С5 из условия получения максимального выходного напряжения при подключенной нагрузке.

## РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ПОИСКЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

### 6.1. С чего начинать поиск неисправностей

#### Простое многообразие отказов

Известно, что все многообразие неисправностей электроники можно свести к **четырем причинам**:

- ♦ **обрыв** из-за старения элементов, прохождения повышенных токов, ударов, вибрации и коррозии;
- ♦ **значительное увеличение сопротивления** электрических цепей по сравнению с номинальным значением (вызывается старением элементов, ухудшением контактов и контактных соединений, отклонением параметров отдельных элементов);
- ♦ **значительное уменьшение сопротивления** электрических цепей по сравнению с номинальным значением из-за увеличения поверхностных утечек и старения элементов. Короткие замыкания являются следствием пробоя изоляции, замыкания проводников и элементов на корпус и между собой (для проводников разных полярностей и фаз).
- ♦ **короткое замыкание** (сопротивление электрической цепи близко к нулю).

А **признаки исправной работы** электрооборудования можно разделить на две основные группы:

- ♦ **активные признаки** — показания световых и звуковых сигналов, сигнализаторов, срабатывания средств защиты, а также признаки, выявляемые при измерении прибором;
- ♦ **пассивные или вторичные признаки**, воспринимаемые при внешнем осмотре электрооборудования (визуальные, звуковые, осязательные, обонятельные).

Следует помнить, что во всей электронной аппаратуре устанавливаются **средства защиты** (предохранители, максимальные или минимальные реле, автоматы и т. п.). Срабатывая, они отключают электрические цепи от источников электроэнергии при наличии в отключенной части схемы повышенных токов утечки, токов перегрузки и коротких замыканий.

При неисправностях «**типа обрыва**» защита обычно не срабатывает, но ее нормальное состояние при наличии неисправности в электрической схеме является косвенным свидетельством того, что повреждение имеет характер обрыва.

Поиск неисправностей производится путем направленных измерений параметров элементов электрических схем с помощью переносных приборов и измерительных комплектов, используя активные признаки.

**При измерении параметров** (сопротивление, ток, напряжение) отдельных элементов в электрических схемах с помощью переносных приборов необходимо использовать карты сопротивлений, напряжений, токов на выходе отдельных элементов и блоков, приводимые в инструкциях по эксплуатации этих аппаратов.

При проведении специальных направленных измерений в практике используется ряд **частных способов поиска неисправностей**:

- ♦ промежуточных измерений, дающих возможность последовательно проследить прохождение сигналов по различным каналам системы;
- ♦ исключения, позволяющий посредством измерений исключить исправные части проверяемой схемы и выделить отказавший элемент;
- ♦ замены блоков (деталей), в которых предполагается наличие неисправности, на однотипные заведомо исправные;
- ♦ сравнения результатов испытаний отказавшей схемы с результатами испытаний исправной схемы того же типа, эксплуатируемой в тех же условиях.

### Причины появления неисправностей

Основными причинами неисправности элементов электроники являются:

- ♦ перегрузки по току;
- ♦ перенапряжения;

- ♦ повышенная температура окружающей среды;
- ♦ недопустимая вибрация, удары.

Поиск неисправного элемента электроники рекомендуется начинать после предварительной **проверки исправности**:

- ♦ сигнальных ламп, предохранителей, выключателей и других средств коммутации и защиты объекта;
- ♦ блока или узла питания объекта путем измерения вольтметром напряжения на входе и выходе;
- ♦ датчиков, сигнализаторов, конечных выключателей, мониторов, кинескопов, акустических систем и других внешних устройств.

После этого рекомендуется проверить значения напряжений или параметров импульсов в контрольных точках, предусмотренных инструкцией по эксплуатации.

**Дальнейший поиск неисправного элемента** рекомендуется выполнять так:

- ♦ должен быть изучен и уяснен принцип действия неисправного объекта;
- ♦ сначала отыскивается более сложный неисправный объект, далее — более простой (по принципу система → блок → узел → элемент);
- ♦ анализируются признаки неисправности, выдвигаются предположения ее причин и выбирается метод проверки;
- ♦ проводится выборочная проверка участков и отдельных элементов, неисправности которых наиболее вероятны, а проверка их занимает наименьшее время;
- ♦ если выборочной проверкой неисправный элемент не обнаружен, следует перейти к **поиску методом исключения**, двигаясь от входа к выходу объекта, либо деля его перед началом следующей проверки на две равные по трудоемкости проверки части;
- ♦ если неисправность нехарактерна, то целесообразно, опустив этап выборочной проверки, начинать поиск сразу с метода исключения.



#### **Будьте осторожны.**

*Вводить и выводить из действия блоки для осмотра, замены на запасные или поиска неисправных элементов рекомендуется **при выключенном напряжении** питания, особенно при наличии разъёмных контактных соединений.*

При внешнем осмотре необходимо обращать внимание:

- ♦ на нарушения защитных и изоляционных покрытий;
- ♦ на изменение цвета, наличие потемнений, вздутий и трещин;
- ♦ на исправность креплений, контактных поверхностей, соединений и паек;
- ♦ на температуру элементов (корпусов транзисторов, резисторов, диодов, микросхем, электролитических конденсаторов) сразу же после выключения схемы.

При этом необходимо помнить, что температура корпусов при нормальной эксплуатации не должна превышать 45—60 °С на ощупь.



**Это интересно знать.**

*Превышение температуры элемента выше 60 °С рука не терпит.*

Элементы с обнаруженными изъянами подлежат проверке в первую очередь.



**Будьте осторожны.**

*Определение неисправного элемента в объекте, находящемся под напряжением, рекомендуется выполнять с использованием исправных удлинительных и переходных устройств, измерительных приборов с высоким внутренним сопротивлением и имеющих в документации указания о значениях и полярности потенциалов.*

При отсутствии необходимых данных поиск может производиться путем сравнения по участкам напряжений на одинаковых элементах заведомо исправного (запасного или аналогичного) и неисправного объектов.

Определение неисправного элемента без подачи напряжения на объект может производиться измерением сопротивлений посредством омметра. Должно производиться измерения по участкам или элементам, работоспособность которых вызывает сомнение.



**Это интересно знать.**

*При необходимости один или несколько выводов элементов могут быть отключены (отпаяны).*

При нарушении исправности элемента (увеличение тока утечки, уменьшение сопротивления изоляции или напряжения переключения

и т. п.) необходимо выполнить измерения его основных параметров посредством обычных или специальных приборов и проверочных схем.

При отсутствии паспортных данных элемента результаты измерений могут быть сопоставлены с аналогичными данными запасных заведомо исправных элементов.



**Совет.**

*В процессе поиска, проверки и замены неисправных элементов (особенно полупроводниковых приборов) с использованием наиболее простых средств необходимо внимательно маркировать выводы приборов.*

После обнаружения неисправного элемента анализируются возможные причины неисправности, которые должны быть устранены до замены его и ввода объекта в действие.

Для повышения достоверности результатов измерение параметров элементов рекомендуется выполнять в сухом помещении при температуре воздуха 20—25°C (особенно для терморезисторов, германиевых диодов и транзисторов).



**Это интересно знать.**

*Если принятые меры по осмотру и проверке неисправного объекта не привели к восстановлению его работоспособности, а поиск неисправного элемента не дал результата, объект подлежит передаче в ремонт специальные мастерские.*

При отсутствии четких указаний в инструкции по эксплуатации Самостоятельное вскрытие и ремонт сложных устройств, основанных на современной элементной базе, радиолобителям не рекомендуется.

## 6.2. Измерение электрических величин

### Первое знакомство с измерениями

Согласно «СИ» единицами измерений электротехнических параметров являются для величин:

- ♦ силы тока — ампер, условное обозначение «А»;

- ♦ **напряжения** — вольт, условное обозначение «В»;
- ♦ **сопротивления** — ом, условное обозначение «Ом»;
- ♦ **мощности** — ватт, условное обозначение «Вт».



**Это полезно запомнить.**

*Средствами электротехнических измерений называют технические средства, используемые при измерении и имеющие нормированные метрологические характеристики.*

Различают следующие **виды средств электротехнических измерений**:

- ♦ **меры** — средства измерений, предназначенные для воспроизведения физической величины с определенной точностью (например, магазин сопротивлений);
- ♦ **электроизмерительные приборы** — средства электротехнических измерений, предназначенные для выработки сигналов измерительной информации, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем (например, амперметр, вольтметр);
- ♦ **измерительные преобразователи** — средства электротехнических измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем (например, датчики температуры контролируемого объекта);
- ♦ **электроизмерительные установки;**
- ♦ **измерительные информационные системы.**

Наибольшее распространение имеют **электроизмерительные приборы**. По роду измеряемой физической величины эти приборы делятся на четыре группы:

- ♦ **амперметры** — для измерения силы тока;
- ♦ **вольтметры** — для измерения напряжения;
- ♦ **омметры** — для измерения сопротивления;
- ♦ **ваттметры** — для измерения мощности и другие.

**Выбор приборов**, выполняющих измерения тока и напряжения, должен осуществляться совокупностью многих факторов, важнейшие из которых такие:

- ♦ род измеряемого тока;
- ♦ примерный диапазон частот измеряемой величины;
- ♦ амплитудный диапазон напряжений;
- ♦ форма кривой измеряемого напряжения (тока);

- ♦ мощность цепи, в которой осуществляется измерение;
- ♦ мощность потребления прибора;
- ♦ допустимая погрешность измерений (класс точности) прибора.

**Совет.**

*Если необходимая точность измерений, допустимая мощность потребления и другие требования могут быть обеспечены амперметрами и вольтметрами электромеханической группы, то следует предпочесть этот простой метод непосредственного отсчета.*

### Рекомендации по использованию измерительных приборов

В слаботочных цепях постоянного и переменного токов для измерений напряжения следует пользоваться цифровыми и аналоговыми электронными вольтметрами.

Электрические сопротивления, соответственно техническим возможностям и методам их измерений, можно условно разделить на три группы:

- ♦ группа 1 — малые сопротивления до 1 Ом;
- ♦ группа 2 — средние сопротивления от 1 до 100000 Ом;
- ♦ группа 3 — большие сопротивления свыше 100000 Ом.

В зависимости от величины сопротивления и необходимой точности результата следует применять различные методы их измерений:

- ♦ метод 1 — косвенное измерение с помощью амперметра и вольтметра (искомое сопротивление определяют на основании закона Ома по данным измерений напряжения и тока);
- ♦ метод 2 — измерение с помощью мостов;
- ♦ метод 3 — прямое измерение аналоговым или цифровым омметром.

В последние десятилетия массовому пользователю доступными стали тестеры, измеряющие температуру, освещенность, влажность и другие характеристики, не имеющие отношения к электричеству.

### Цифровые измерительные приборы

Наряду с аналоговыми приборами в измерении электрических величин широко используются **цифровые приборы**. Все величины при этом преобразуются в цифровую форму при помощи:

- ♦ аналогово-цифровых преобразователей;
- ♦ интервально-числовых преобразователей;
- ♦ частотно-цифровых преобразователей.

**Это полезно запомнить.**

*Форма представления сигнала о физической величине в виде кода называется **цифровой**.*

В этом случае каждому значению отсчета физической величины соответствует кодовая группа в виде комбинации простых сигналов.

Особый класс электроизмерительных приборов представляют собой устройства с компьютером в качестве выходного устройства. На начальном этапе внедрения оргтехники в измерительную технику компьютер использовался в качестве дополнительного блока.

**Это интересно знать.**

*Т. е. прибор имел индикатор в аналоговом или в цифровом виде, но мог и сопрягаться с компьютером для записи сигналов, обработки информации и представления ее в виде графиков, таблиц, гистограмм и т. п.*

В современных приборах индикаторы иногда не используются, и компьютер является единственным средством вывода информации. Такого рода приборы имеют, как правило:

- ♦ первичный преобразователь (датчик);
- ♦ аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- ♦ компьютер.

Поскольку информация в компьютер должна вводиться в виде кода, то такие приборы можно отнести к классу специфических цифровых приборов. **Удобства использования компьютерного выхода** в измерительных приборах совершенно очевидны:

- ♦ отсутствие необходимости использования самописцев;
- ♦ высокая помехоустойчивость;
- ♦ широкие возможности обработки и представления результатов;
- ♦ возможность передачи полученной информации по каналам связи и многое другое.

В настоящей главе рассматриваются приборы ведущих западных фирм, которые в настоящее время являются не только цифровыми, но и в большинстве имеют выход на компьютер.

## 6.3. Как использовать универсальные измерительные приборы

### Измерение сопротивлений



**Это полезно запомнить.**

*Универсальными называют приборы, измеряющие напряжение, ток и сопротивление*

При измерении сопротивлений:

- ♦ замкните щупы прибора и, вращая ручку «Установка нуля», установите стрелку на «0 Ом». Наилучшие результаты измерений достигаются при использовании свежей батареи, так как ошибки измерений возрастают по мере разряда батареи, несмотря на соответствующую установку нуля;
- ♦ не выбирайте диапазон измерений, на котором отклонение стрелки не выходит за пределы левой половины шкалы. Шкалы сопротивлений логарифмические, поэтому интервалы отсчета, соответствующие высоким значениям сопротивления, становятся малыми, и точность отсчета падает;
- ♦ не держите резистор, сопротивление которого измеряете, в руках, так как сопротивление кожи снижает точность измерений;
- ♦ никогда не измеряйте сопротивление резистора в схеме, находящейся под напряжением;
- ♦ при измерении сопротивления резистора, впаянного в схему, убедитесь в том, что параллельно ему не подключен какой-либо другой элемент схемы.



**Совет.**

*Трансформаторы, транзисторы, диоды, индуктивности, а также другие сопротивления, подключенные параллельно измеряемому резистору, влияют на результат измерений. При наличии сомнений отпаяйте один конец резистора.*

### Измерение постоянных напряжений

При измерении постоянных напряжений:

- ♦ всегда устанавливайте прибор в положение измерений постоянных напряжений до подключения прибора к схеме;

- ♦ подключайте прибор параллельно компоненту, напряжение на котором необходимо измерить;
- ♦ устанавливайте наиболее высокий предел измерений до подключения прибора к схеме. Затем можно перейти на меньшие пределы до получения удобного отсчета измеряемой величины;
- ♦ прибор может нагружать цепь, в которой производятся измерения. Это означает, что собственное сопротивление прибора, будучи подключенным параллельно компоненту, на котором измеряется напряжение, уменьшает результирующее напряжение. Поэтому измеряемое напряжение окажется меньше действительного (рис. 6.1). Действительное напряжение в отсутствие подключения прибора равно  $U_i = UR_i / (R_i + R_2)$ .

При подсоединении прибора его сопротивление  $R_m$  включается параллельно  $R_1$  измеряемое напряжение  $U_m$  оказывается равным  $U_m = U (R_1 \parallel R_m) / (R_1 \parallel R_m + R_2)$  может быть существенно меньше  $U_1$  если не выполняется условие  $R_m \gg R_1$ .

Сопротивление прибора  $R_m$  можно вычислить по формуле

$$R_m = S U_{\max}$$

где  $S$  — чувствительность, Ом/В, а  $(U_{\max}$  — максимальное напряжение, измеряемое в выбранном диапазоне. Например, если чувствительность прибора 20 кОм/В и выбран диапазон измерений 0—5 В, сопротивление прибора составляет 100 кОм.

С учетом шунтирующего действия прибора показание корректируется следующим образом:

$$U_1 = [1 + (R_s \parallel R_1) / R_m],$$

где  $R_1$  — сопротивление, на котором измеряется падение напряжения;  
 $R_s$  — суммарное сопротивление, включенное последовательно с  $R_1$ ,  
 $R_m$  — сопротивление прибора.

Если принять (рис. 6.1), что  $R_2$  равно  $R_s$ , то уравнение получается с помощью теоремы Тевенина для последовательной цепи  $R_s$  и  $U$ . Если эквивалентная по Тевенину цепь нагружена сопротивлением  $R_m$ , то

$$U_1 = U_m + I_m (R_s \parallel R_1).$$

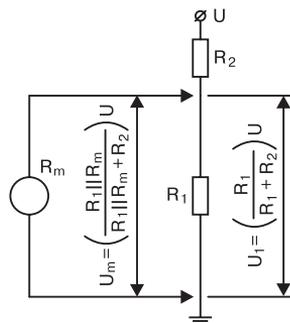


Рис. 6.1. Подключение собственного сопротивления прибора

Но  $I_m = U_m/R_m$ , так что

$$U_1 = U_m (1 + (R_s \parallel R_1)/R_m).$$

### Измерение постоянного тока

При измерении постоянного тока:

- ♦ всегда устанавливайте режим измерения постоянного тока перед включением прибора в цепь;
- ♦ включайте прибор последовательно с компонентом, ток в цепи которого необходимо измерить;
- ♦ устанавливайте наибольший предел измерений до подключения прибора к схеме. Затем можно перейти на меньшие пределы до получения удобного отсчета измеряемой величины;
- ♦ прибор не должен нагружать измеряемый участок схемы, т. е. при последовательном включении прибора в цепь ток за счет его сопротивления не должен уменьшаться.

В общем случае сопротивление прибора мало, если выбран достаточно высокий предел измерения тока, но оно может достигать 1 кОм в диапазоне микроампер.

Показание прибора  $I_m$  с учетом его сопротивления  $R_m$  можно скорректировать следующим образом:

$$I = (1 + R_m/R_s)I_m,$$

где  $R_s$  — суммарное сопротивление, последовательно включенное в цепь, в которой измеряется ток.

### Измерение переменного напряжения

При измерении переменного напряжения:

- ♦ следует помнить, что чувствительность прибора при измерении переменного напряжения ниже, чем при измерении постоянного.



#### Это интересно знать.

Соответственно, при измерении переменного напряжения прибор нагружает цепь сильнее, чем при измерении постоянного.

- ♦ для определения величины  $S$  предпочтительно пользоваться справочными данными, нежели вычислять ее из соотношения  $S = I/I_s$ ;

- ♦ частота измеряемого переменного напряжения должна находиться в пределах, указываемых изготовителем. Авометры обычно не предназначены для высокочастотных измерений, и максимальная частота для ряда таких приборов ограничивается 60 Гц;
- ♦ градуировка шкалы в среднеквадратичных, или амплитудных, значениях действительна только для напряжения синусоидальной формы. Для измерения напряжений несинусоидальной формы требуются специальные приборы;
- ♦ прибор регистрирует среднее значение измеряемой величины.



#### **Это интересно знать.**

*Соответственно, если переменное напряжение содержит постоянную составляющую, то отсчет будет ошибочным. Ведь он не будет представлять ни среднеквадратичное, ни амплитудное значение отдельно взятой переменной составляющей.*

Считается, что «выходное» напряжение представляет собой переменную составляющую напряжения, имеющего постоянную составляющую. У некоторых приборов есть отдельный выход (в действительности используемый как вход), заблокированный для постоянной составляющей. Для блокировки постоянной составляющей можно использовать внешний конденсатор соответствующей емкости.

## **6.4. Простейшие способы проверки исправности электронных компонентов**

### **Проверка проволочных и непроволочных резисторов**

Для проверки проволочного и непроволочного резисторов постоянного и переменного сопротивления необходимо проделать следующее:

- ♦ произвести внешний осмотр;
- ♦ проверить работу движущего механизма переменного резистора и состояние его частей;
- ♦ по маркировке и размерам определить номинальную величину сопротивления, допустимую мощность рассеяния и класс точности;
- ♦ омметром измерить действительную величину сопротивления и определить отклонение от номинала;

- ♦ у переменных резисторов измерить еще и плавность изменения сопротивления при движении ползунка.



**Это интересно знать.**

*Резистор исправен, если нет механических повреждений, величина его сопротивления находится в допустимых пределах данного класса точности, а контакт ползунка с токопроводящим слоем постоянен и надежен.*

### Проверка конденсаторов

К электрическим неисправностям относятся:

- ♦ пробой конденсаторов;
- ♦ короткое замыкание пластин;
- ♦ изменение номинальной емкости сверх допуска из-за старения диэлектрика, попадания на него влаги, перегрева, деформации;
- ♦ повышение тока утечки из-за ухудшения изоляции. Полная или частичная потеря емкости электролитических конденсаторов происходит в результате высыхания электролита.

**Простейший способ проверки исправности конденсатора — внешний осмотр**, при котором обнаруживаются механические повреждения.

Если при внешнем осмотре дефекты не обнаружены, проводят электрическую проверку. Она включает:

- ♦ проверку на короткое замыкание;
- ♦ проверку на пробой;
- ♦ проверку на целостность выводов;
- ♦ проверку тока утечки (сопротивление изоляции);
- ♦ измерение емкости.

При отсутствии специального прибора емкость можно проверить другими способами, зависящими от емкости конденсаторов.

**Конденсаторы большой емкости (1 мкФ и выше)** проверяют пробником (омметром), подключая его к выводам конденсатора. Если конденсатор исправен, то стрелка прибора медленно возвращается в исходное положение. Если же утечка велика, то стрелка прибора не вернется в исходное положение.

**Конденсаторы средней емкости (от 500 пФ до 1 мкФ)** проверяют с помощью последовательно подключенных к выводам конденсатора телефонов и источника тока. При исправном конденсаторе в момент замыкания цепи в телефонах прослушивается щелчок.

Конденсаторы малой емкости (до 500 пФ) проверяют в цепи тока высокой частоты. Конденсатор включают между антенной и приемником. Если громкость приема не уменьшится, значит, обрывов выводов нет.

### Проверка катушек индуктивности

Проверка исправности катушек индуктивности начинается с внешнего осмотра, в ходе которого убеждаются:

- ♦ в исправности каркаса, экрана, выводов;
- ♦ в правильности и надежности соединений всех деталей катушки между собой;
- ♦ в отсутствии видимых обрывов проводов, замыканий, повреждения изоляции и покрытий.



**Это интересно знать.**

*Особое внимание следует обращать на места облуживания изоляции, каркаса, почернение или оплавление заливки.*

Электрическая проверка катушек индуктивности включает:

- ♦ проверку на обрыв;
- ♦ обнаружение короткозамкнутых витков;
- ♦ определение состояния изоляции обмотки.

**Проверка на обрыв** выполняется пробником. **Увеличение сопротивления** означает обрыв или плохой контакт одной или нескольких жил.

**Уменьшение сопротивления** означает наличие межвиткового замыкания. При коротком замыкании выводов сопротивление равно нулю.

Для более точного представления о неисправности катушки необходимо измерить индуктивность. В заключение рекомендуется проверить работоспособность катушки в таком же заведомо исправном аппарате, для которого она предназначена.

### Проверка трансформаторов и дросселей

По конструкции и технологии изготовления трансформаторы (в том числе силовые) и дроссели НЧ имеют много общего. Те и другие состоят из обмоток, выполненных изолированным проводом, и сердечника. **Неисправности трансформаторов и дросселей НЧ** делятся на две группы:

- ♦ механические неисправности;
- ♦ электрические неисправности.

К **механическим неисправностям** относятся поломки: экрана, сердечника, выводов, каркаса и крепежной арматуры.

К **электрическим неисправностям** относятся:

- ♦ обрывы обмоток;
- ♦ замыкания между витками обмоток;
- ♦ короткое замыкание обмотки на корпус, сердечник, экран или арматуру;
- ♦ пробой между обмотками, на корпус или между витками одной обмотки;
- ♦ уменьшение сопротивления изоляции;
- ♦ местные перегревы.

Проверку исправности трансформаторов и дросселей НЧ начинают с внешнего осмотра. В ходе его выявляют и устраняют все видимые механические дефекты. **Проверка на короткое замыкание** между обмотками, между обмотками и корпусом производится омметром. Прибор включают между выводами разных обмоток, а также между одним из выводов и корпусом. Так же проверяется и сопротивление изоляции, которое должно быть не менее 100 МОм для герметизированных трансформаторов и не менее десятков мегом для негерметизированных.

Самая сложная **проверка на межвитковые замыкания**. Известно несколько способов проверки трансформаторов.

**Способ 1.** Измерение омического сопротивления обмотки и сравнение результатов с паспортными данными. Способ простой, но не точный, особенно при малой величине омического сопротивления обмоток и малом числе короткозамкнутых витков.

**Способ 2.** Проверка катушки с помощью специального прибора — анализатора короткозамкнутых витков.

**Способ 3.** Проверка коэффициентов трансформации на холостом ходу. Коэффициент трансформации определяется как отношение напряжений, показываемых двумя вольтметрами. При наличии межвитковых замыканий коэффициент трансформации будет меньше нормы.

**Способ 4.** Измерение индуктивности обмотки.

**Способ 5.** Измерение потребляемой мощности на холостом ходу. У силовых трансформаторов одним из признаков короткозамкнутых витков является чрезмерный нагрев обмотки.

## Простейшая проверка исправности полупроводниковых диодов

Простейшая проверка исправности полупроводниковых диодов заключается в измерении их прямого  $R_{пр}$  и обратного  $R_{обр}$  сопротивлений.



### Есть такое правило.

*Чем больше соотношение  $R_{обр}/R_{пр}$ , тем выше качество диода.*

Для измерения диод подключается к тестеру (омметру) или к ампервольтметру.



### Это интересно знать.

*При этом выходное напряжение измерительного прибора не должно превышать максимально допустимого для данного полупроводникового прибора.*

## Простая проверка транзисторов

При ремонте бытовой радиоаппаратуры возникает необходимость проверить исправность транзисторов без выпайки их из схемы.

**Способ 1.** Измерение омметром сопротивления между выводами эмиттера и коллектора при соединении базы с коллектором и при соединении базы с эмиттером. При этом источник коллекторного питания отключается от схемы.



### Это интересно знать.

*При исправном транзисторе **в первом случае** омметр покажет малое сопротивление, **во втором** — порядка нескольких сотен тысяч или десятков тысяч ом.*

**Способ 2.** Проверка транзисторов, не включенных в схему, на отсутствие коротких замыканий производится измерением сопротивления между их электродами. Для этого омметр подключают поочередно к базе и эмиттеру, к базе и коллектору, к эмиттеру и коллектору, меняя полярность подключения омметра.



### Это интересно знать.

*Транзистор состоит из двух переходов. Каждый из них представляет собой полупроводниковый диод. Поэтому проверить транзистор можно так же, как проверяют диод.*

Для проверки исправности транзисторов омметр подключают к соответствующим выводам транзистора. У исправного транзистора:

- ♦ прямые сопротивления переходов составляют 30—50 Ом;
- ♦ обратные сопротивления переходов составляют 0,5—2 МОм.

При значительных отклонениях этих величин транзистор можно считать неисправным. Для более тщательной проверки транзисторов используются специальные приборы.

## 6.5. Испытания компонентов с использованием универсальных измерительных приборов

### Диоды

С помощью УИП (универсальных измерительных приборов), например, омметра можно определить, какой из выводов диода соответствует аноду, какой — катоду.



#### Это интересно знать.

*В прямом направлении сопротивление диода мало: положительный щуп омметра в этом случае подключается к аноду, отрицательный — к катоду; в обратном направлении сопротивление диода велико.*

Если диод короткозамкнут, омметр покажет низкое (или равное нулю) сопротивление в прямом обратном направлении, если в диоде обрыв — высокое сопротивление в обоих направлениях. Рассмотрим рекомендации при испытаниях.

**Рекомендация 1.** Проверьте полярность входных щупов прибора. У некоторых приборов при измерении сопротивлений минус соответствует «высокому» выводу (отмечается красным). Убедитесь в том, что напряжение не так велико, чтобы могло вывести диод из строя за счет пропускания недопустимо большого прямого тока. Так как сопротивление прибора ограничивает ток и в диапазоне  $R \times 1$  мало, не проверяйте диоды (особенно выпрямительные или силовые) в этом диапазоне.

**Рекомендация 2.** Убедитесь в том, что напряжение на щупах прибора достаточно для оценки качества диода (должно быть не менее

0,3 В для германиевых диодов и 0,7 В для кремниевых). УИП с источником постоянного тока в режиме измерения сопротивлений может не обеспечить нужного напряжения. У некоторых приборов предусмотрен специальный режим для проверки сопротивления диодов.

**Рекомендация 3.** Разные приборы или один и тот же прибор на различных пределах измерений могут не показать одинаковых результатов измерений сопротивления диода в прямом направлении. Нелинейность характеристик диодов приводит к зависимости сопротивления от пропускаемого через диод тока. Для точных измерений диод следует включать последовательно с источником тока и резистором, ограничивающим ток. Изменяя напряжение источника, установите желаемый ток через диод  $I_d$ . Измерьте падение напряжения на диоде  $U_d$  и вычислите  $R_d = U_d/I_d$ , где  $R_d$  — статическое сопротивление диода.

## Транзисторы

Переходы транзистора эмиттер-база и база-коллектор можно проверить так же, как и диоды. Остановимся на некоторых предосторожностях.



### Это интересно знать.

*Сопротивления, измеряемые между коллектором и эмиттером, должны быть умеренно велики (необязательно равны) в зависимости от направления, в котором они измеряются (полярности омметра).*

На рис. 6.2 показаны варианты значений измеряемых сопротивлений для n-p-n и p-n-p транзистора при различных полярностях напряжения омметра.

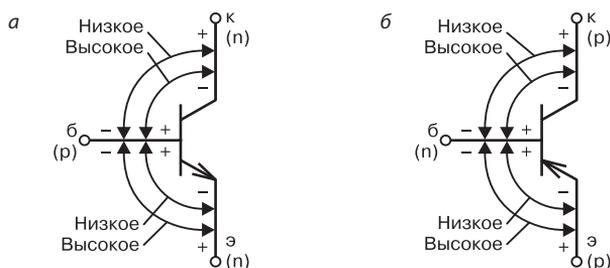


Рис. 6.2. Варианты значений измеряемых сопротивлений для разных видов транзисторов

Следует отметить, что определения «высокое» и «низкое» сопротивление относительно и реальные значения их могут колебаться в широких пределах, особенно для транзисторов различных типов.



**Это интересно знать.**

*В общем случае отношение обратного к прямому сопротивлению должно быть не менее 30:1.*

Для испытания транзистора, включенного в схему и работающего в линейной области, например, в усилителе класса А, необходимо измерить постоянные напряжения коллектор-эмиттер  $U_{кэ}$  и база-эмиттер  $U_{бэ}$ . Постоянное напряжение коллектор-эмиттер должно находиться в интервале между 0 и  $U_{cc}$  — напряжением источника питания коллектора (но не достигать крайних значений).

Напряжение  $U_{бэ}$  должно составлять примерно:

- ♦ + 0,65 В для n-p-n-транзистора;
- ♦ – 0,65 В для p-n-p транзистора;
- ♦  $\pm 0,3$  В для германиевого транзистора.

Если это напряжение равно нулю, переход закорочен, если оно выше указанного значения, в переходе обрыв.

На рис. 6.3 показана схема, позволяющая убедиться в том, что транзистор работает, и измерить величину  $\beta$ . Для p-n-p-транзистора полярность источника напряжения 10 В и миллиамперметра должна быть обратной.



**Это интересно знать.**

*Если транзистор исправен, увеличение или уменьшение  $I_b$  с помощью потенциометра 1 МОм вызывает соответствующее увеличение или уменьшение  $I_k$ .*

Для измерения  $\beta$  ток  $I_b$  потенциометром устанавливают в пределах 2—8 мА и измеряют  $I_b$  и  $I_k$ . Тогда

$$\beta = I_k / I_b.$$

Величина  $\alpha$  вычисляется по формуле

$$\alpha = \beta / (\beta + 1).$$

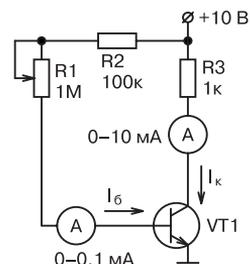


Рис. 6.3. Схема измерения величины  $\beta$

## Тиристоры

Если тиристор не подключен к схеме, сопротивление между любой парой электродов (анодом, катодом, управляющим электродом) должно быть велико независимо от полярности, за исключением сопротивления управляющий электрод-катод, которое должно быть мало при положительном потенциале управляющего электрода.



### Это интересно знать.

*Другими словами, малое сопротивление можно измерить, только подключая положительный зажим омметра к управляющему электроду и отрицательный — к катоду.*

Для проверки работоспособности тиристора необходимо собрать схему с источником питания и резисторами, ограничивающими ток (рис. 6.4).

Сопротивление резистора  $R$  должно быть таким, чтобы

$$I_{уд} < E_a / R < I_{макс},$$

где  $E_a$  — напряжение, меньшее напряжения переключения тиристора ( $U_{пер}$ );

$I_{уд}$  — ток удержания при  $E_{yэ.к} = 0$  В;

$I_{макс}$  — установленный максимальный прямой ток.

Установите  $E_{yэ.к} = 0$  до подключения источника  $E_A$ . Подключите источник  $E_a$ . При этом напряжение  $U_{ак}$  должно быть велико (близко к  $E_A$ ). При постепенном увеличении  $E_{yэ}$  тиристор включится и  $U_{ак}$  станет близким к нулю.

При уменьшении  $E_{yэ}$  до 0 напряжение  $U_{ак}$  должно остаться низким; снижайте  $E_A$  до 0. Затем восстановите первоначальное значение  $E_A$ .

Если  $E_{yэ}$  будет равно 0,  $U_{ак}$  останется высоким. Для проверки  $U_{пер}$  соедините управляющий электрод с катодом и повышайте  $E_A$ , пока  $U_{ак}$  не станет низким.

Напряжение  $E_a$ , при котором  $U_{ак}$  становится низким, равно  $U_{пер}$ . Для проверки обратного напряжения  $U_{обр}$  поменяйте полярность анода и катода и, используя для ограничения обратного тока сопротивление  $R$  в 10 раз больше, чем ранее, повторите опыт.

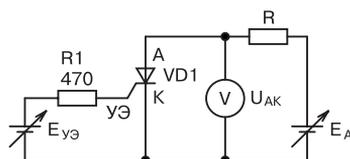


Рис. 6.4. Проверка работоспособности тиристора

## Стабилитроны

Сопротивление стабилитрона с прямым смещением должно быть мало и проверяется омметром так же, как сопротивление обычного диода. При обратном смещении сопротивление должно быть велико при условии, что обратное напряжение меньше напряжения пробоя (стабилизации)  $U_{ст}$ . Для проверки работоспособности диодов и измерения напряжения  $U_{ст}$  используется схема, показанная на рис. 6.5.

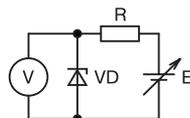


Рис. 6.5. Схема испытания стабилитрона

Сопротивление  $R$  выбирают приблизительно равным

$$U_{ст}^2/0,5P_d,$$

где  $P_d$  — допустимая мощность рассеяния стабилитрона.



### Пример.

При испытании стабилитрона с напряжением стабилизации 10 В и мощностью рассеяния 0,5 Вт,  $R = 10^2/0,25 = 400$  Ом, применяется сопротивление 390 Ом.

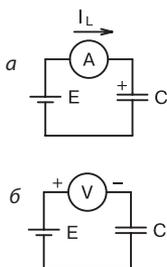
Мощность рассеяния резистора выбирается из условия  $P_r > U_{ст}^2/R$ . При постепенном повышении напряжения  $E$ , соответственно, увеличивается измеряемое напряжение до достижения  $U_{ст}$ . При дальнейшем увеличении  $E$  напряжение  $U$  остается примерно постоянным, равным  $U_{ст}$ . Не следует увеличивать напряжение  $E$  свыше  $2 U_{ст}$ .

## Конденсаторы

С помощью омметра можно определить наличие или отсутствие короткого замыкания в конденсаторе. Для этого надо омметр на самом «высокоомном» пределе измерений подключить к выводам конденсатора.

Если конденсатор электролитический, положительный зажим омметра надо присоединить к плюсовому выводу конденсатора. Измеряемое сопротивление конденсатора должно постепенно увеличиваться (при испытании конденсатора большой емкости сопротивление нарастает медленно) до очень большого значения и затем должно оставаться постоянным.

Для определения тока утечки электролитического конденсатора используется схема, показанная на рис. 6.6, а. Для получения надеж-



**Рис. 6.6.** Определение тока утечки электролитического конденсатора: а — амперметром; б — вольтметром

ных результатов напряжение  $E$  устанавливают несколько меньшим номинального рабочего напряжения конденсатора. В этом случае ток не должен превышать 0,1 мА при 100 В, 0,2 мА при 100—300 В и 0,5 мА при 300 В и выше.

**Неэлектролитические конденсаторы** имеют существенно меньшие токи утечки. При измерениях по схеме **рис. 6.6, б** они практически должны быть равны нулю. Если это не так, вычислите эквивалентное сопротивление конденсатора  $R_3$ , Ом, по формуле:

$$R_3 = R_B (E/U - 1),$$

где  $R_B$  — сопротивление вольтметра;  $R_3$  не должно быть существенно меньше 100 МОм.

Проверить конденсатор, включенный в цепь переменного тока в качестве **разделительного**, можно, измеряя падение напряжения на нем.



**Это интересно знать.**

*В большинстве подобных применений падение напряжения на конденсаторе должно быть близко к нулю или очень мало в сравнении с напряжением, измеряемым между конденсатором и землей.*

Необходимо помнить, что наличие постоянной составляющей может привести к ошибочному отсчету. Постоянная составляющая должна быть заблокирована.

### Индуктивности и трансформаторы

С помощью омметра можно определить, соответствует ли сопротивление индуктивности значению, указанному изготовителем (полярность при этом несущественна).



**Это интересно знать.**

*В радиоэлектронике используются катушки индуктивности с весьма широким диапазоном сопротивлений и общих правил определения сопротивлений индуктивностей нет.*

Индуктивности, имеющие много витков тонкого провода, обычно имеют высокие сопротивления. Если сопротивление индуктивности равно бесконечности, в катушке **обрыв**. Если сопротивление катушки индуктивности меньше значения, указанного изготовителем, возможно, что часть витков **короткозамкнута**.

Первичные и вторичные обмотки трансформаторов проверяются как самостоятельные индуктивности, за исключением автотрансформаторов, у которых одна и та же катушка выполняет функции первичной и вторичной обмоток. Сопротивление между любыми выводами первичной и вторичной обмоток должно быть равно бесконечности («обрыв»).



**Это интересно знать.**

*Сопротивление между выводами обмоток должно быть пропорционально числу витков.*

Например, сопротивление между выводом от средней точки и выводом от любого конца обмотки должно быть примерно равно половине полного сопротивления обмотки. Если результаты измерений сопротивлений вызывают сомнения, трансформатор следует проверить на соответствие техническим данным на переменном токе. Надо измерить переменное напряжение на вторичной обмотке при наличии резистивной нагрузки и напряжение на первичной обмотке.



**Есть такое правило.**

*Отношение действующих значений напряжений на вторичной и на первичной обмотках должно быть равно отношению числа витков вторичной обмотки к числу витков первичной.*

### Источники питания и стабилизаторы напряжения

Надежность системы в значительной степени определяется надежностью источников питания, и их необходимо проверять в первую очередь. Очевидно, что следует измерить выходное напряжение включенного источника питания; при этом отсутствие напряжения на выходе источника еще не является свидетельством его неисправности.



**Это интересно знать.**

*Часто причиной упомянутой ситуации является пробитый конденсатор фильтра или перегрузка источника.*

Современные источники питания на интегральных схемах, например, серии 7800 (с фиксированным выходным напряжением) и 723 (с регулируемым выходным напряжением), имеют встроенные цепи, чувствительные к перегрузке. Они автоматически уменьшают выходные напряжения, если ток нагрузки превышает допустимое значение.

Если напряжение на выходе источника питания недопустимо мало, отключите нагрузку и измерьте выходное напряжение. Если выходное напряжение по-прежнему мало, то это свидетельствует о неисправности источника питания, хотя выход его из строя мог быть вызван дефектами внешних (по отношению к источнику) компонентов.



#### Совет.

*Не заменяйте источник питания, пока устройство, на которое он нагружен, не проверено на отсутствие короткого замыкания.*

Ненормальная работа устройства, например: шум, гудение в усилителе низкой частоты, произвольные отключения могут быть следствием дефекта источника питания, вызванным утечкой электролитического конденсатора фильтра и др.

Для измерений переменной составляющей напряжения на выходе источника питания удобно использовать УИП.



#### Будьте осторожны.

*Не забывайте заблокировать постоянную составляющую. В общем случае напряжение пульсаций на выходном фильтре при нормальной нагрузке должно быть меньше 1 % выходного постоянного напряжения.*

Испытывать источники питания на соответствие спецификациям изготовителя следует в двух режимах:

- ♦ в отсутствие нагрузки (тока на выходе);
- ♦ при полной нагрузке (максимально допустимый ток на выходе).



#### Это интересно знать.

*У некоторых источников питания, например, батарей, выходное напряжение в отсутствие нагрузки выше, чем при включенной нагрузке.*

Для оценки процента стабилизации источника питания ( $U_{ст}$ ) следует измерить напряжение в отсутствие и при наличии нагрузки  $U_0$  и  $U_H$  и вычислить  $U_{ст} = (U_0 - U_H)/U_H$ .

У идеального стабилизатора это значение должно составлять 0 (не 100%).

**Ряд изготовителей** указывает выходное полное сопротивление источника питания, которое определяется как

$$R_{\text{вых}} = \Delta U / \Delta I,$$

где  $\Delta U$  — полное изменение выходного напряжения в интервале нагрузок от нуля до полной;

$\Delta I$  — полное изменение тока нагрузки в этих же условиях (при отключенной нагрузке выходной ток отсутствует).



**Это интересно знать.**

*У хорошо стабилизированного источника питания выходное сопротивление очень мало (порядка мегаом для лабораторных источников).*

Для известного выходного сопротивления коэффициент стабилизации в процентах определяется по формуле

$$U_{\text{ст}} = R_{\text{вых}} I_{\text{н}} 100 / U_{\text{н}},$$

где  $I_{\text{н}}$  и  $U_{\text{н}}$  — ток и напряжение при полной нагрузке, соответственно.

## 6.6. Генераторы сигналов сложной формы

### Принцип действия



**Это полезно запомнить.**

***Генераторы сигналов сложной формы** — это источники сигналов общего назначения, формирующие сигналы различной формы, включая синусоидальную, прямоугольную и треугольную. Форма сигналов, амплитуда и частота выбираются оператором.*

В некоторых моделях генераторов сигналы различной формы одновременно снимаются с различных выходов. Частоты сигналов генераторов устанавливаются в широком диапазоне — от 1 мГц или 1 мкГц до нескольких мегагерц. Обычно частоты генераторов общего назначения составляют 0,01 Гц — 10 МГц.

**Низкочастотные генераторы** предназначены для генерирования неискаженных синусоидальных колебаний низкой частоты в ограниченном диапазоне частот, обычно от 20 Гц до 20 кГц, иногда до 100 кГц.

**Лабораторные генераторы** имеют прецизионные аттенюаторы и приборы на выходе, позволяющие точно устанавливать амплитуду сигнала.

Многие низкочастотные генераторы формируют прямоугольные импульсы.



**Это интересно знать.**

*Задающим генератором обычно является низкочастотный генератор с фазосдвигающей RC-цепочкой или мостом Вина.*

Прямоугольные импульсы формируются из колебаний синусоидальной формы с помощью ограничителей.

Низкочастотные генераторы колебаний треугольной формы обычно представляют собой мультивибраторы, генерирующие колебания прямоугольной формы. Эти колебания интегрируются операционным усилителем с емкостной обратной связью, формирующим колебания треугольной формы.

Такое электронное интегрирование обычно связано с поворотом фазы на  $180^\circ$ , и выходное, линейно нарастающее напряжение оказывается линейно падающим. Треугольная форма выходного сигнала образуется при чередовании линейно нарастающего и линейно падающего напряжений.

Напряжение синусоидальной формы формируется путем выделения из колебания прямоугольной формы основной гармонической составляющей. Изменение параметров фильтров при изменении частоты генерируемых колебаний достигается механическим соединением соответствующих перестраиваемых элементов схемы. На рис. 6.7 показана общая структурная схема типового генератора сигналов сложной формы.

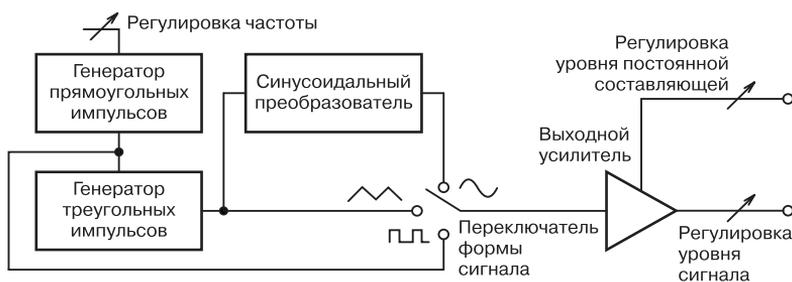


Рис. 6.7. Структурная схема генератора сигналов сложной формы

## Прохождение сигнала

В процедуре отыскания неисправностей видное место занимает **измерение уровня сигнала** или наблюдение сигнала с помощью осциллографа в определенных точках его **прохождение через исследуемое устройство**.

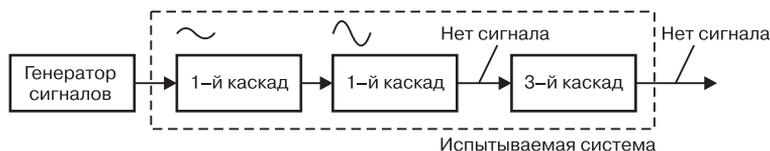
Для примера можно проследить прохождение сигнала через многокаскадный усилитель, начиная с первого каскада.



### Будьте осторожны.

*Если на входе какого-либо каскада сигнал нормальный, а на выходе отсутствует или форма его искажена, то каскад **неисправен**.*

На **рис. 6.8** показан трехкаскадный усилитель, в котором второй каскад неисправен.



**Рис. 6.8.** Проверка трехкаскадного усилителя

Генераторы могут быть использованы в качестве источников входных сигналов для проверки устройств в целом.



### Это интересно знать.

*Нужно быть уверенным в том, что на вход подается сигнал заданной формы и частоты.*

Это помогает отыскать неисправности путем сравнения сигналов в разных точках схемы и определить место возникновения искажений сигнала или ненормальных амплитудных соотношений. Это особенно удобно, если воспроизводимый устройством сигнал имеет сложную форму (речь, музыка) переменного частотного и амплитудного состава.

Генераторы заменяют воспроизводимый сигнал, например, от микрофона; их можно подключать к любой заданной точке схемы, например, к входу усилителя мощности.

**Будьте осторожны.**

*Между выходом генератора и точкой схемы, к которой он подключается, всегда должен быть включен конденсатор. Выход генератора представляет собой короткозамкнутую по постоянному току цепь, и пробой изоляции этого конденсатора может серьезно повредить или вывести из строя испытываемый участок схемы.*

Устанавливать уровень выходного сигнала генератора следует так, чтобы обеспечить необходимое напряжение в испытываемой точке схемы (на разделительном конденсаторе может падать переменное напряжение соответствующей частоты); показания отсчетных шкал генератора могут не соответствовать истинному напряжению в точке подключения (после конденсатора).

**Измерение частотных характеристик****Это полезно запомнить.**

*Частотная характеристика схемы (или устройства) — зависимость выходного сигнала от частоты на входе (при постоянной амплитуде входного сигнала).*

Во многих случаях существенным является **изменение фазового сдвига** между выходным и входным напряжением при изменении частоты. Частотные характеристики обычно графически изображаются в виде зависимостей уровня сигнала (или фазы) на выходе от частоты. При этом, как правило, используется **логарифмический масштаб** по обеим осям координат.

**Совет.**

*Удобно использовать бумагу с логарифмическим масштабом по обеим осям, поскольку значения по оси ординат откладываются в децибелах, а по оси абсцисс необходимо отложить широкий диапазон значений частот (что просто неудобно при использовании линейного масштаба).*

Генератор сигналов представляет собой идеальный инструмент для снятия частотных характеристик, так как частота генерируемых сигналов изменяется в широких пределах при сохранении постоянства амплитуды сигнала.

Коэффициент усиления испытываемой схемы определяется отношением амплитуды сигнала на выходе  $U_{\text{вых}}$  к амплитуде сигнала на входе  $U_{\text{вх}}$ :

$$K = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}},$$

где  $U_{\text{вых}}$  и  $U_{\text{вх}}$  отсчитываются в среднеквадратичных или амплитудных значениях.

В децибелах коэффициент усиления испытываемой схемы определяется

$$K = 20\log_{10} (U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}).$$

Определить коэффициент усиления на различных частотах можно, изменяя частоту входного сигнала (при постоянной амплитуде  $U_{\text{вх}}$ ), измеряя выходное напряжение и вычисляя соответствующее отношение.



#### Совет.

*Для получения очень точных данных входное напряжение следует измерять каждый раз при установке нового значения частоты, поскольку, как указывалось выше, амплитуда выходного сигнала генератора при изменении частоты может в определенных пределах изменяться.*

При снятии частотной характеристики следует контролировать с помощью осциллографа форму выходного и входного сигнала. Если на какой-либо частоте сигнал оказывается искаженным, **например**, ограниченным, выходное напряжение генератора следует уменьшить.

Если сигнал чрезмерно мал (сравним с уровнем шумов), выходное напряжение генератора надо увеличить. В обоих случаях при расчете коэффициента усиления надо учитывать изменения уровня сигнала. В описании частотной характеристики большие значения имеют верхняя и нижняя граничные частоты — частоты, на которых коэффициент усиления уменьшается до  $0,707 K_{\text{ср}}$ , где  $K_{\text{ср}}$  — коэффициент усиления в области средних частот (**рис. 6.9, а**).



#### Это интересно знать.

*На граничных частотах коэффициент усиления на 3 дБ ниже, чем на средних.*

Полоса пропускания устройства определяется как разность значений верхней и нижней граничной частот

$$\Delta f = f_2 - f_1.$$

Для резонансного усилителя или полосового фильтра (рис. 6.9, б) важна величина

$$Q = f_0 / \Delta f,$$

где  $f_0$  — «центральная» частота, на которой коэффициент усиления максимален.

В устройствах с высокими значениями  $Q$  ( $Q > 10$ ) центральная частота находится примерно посередине между граничными частотами.

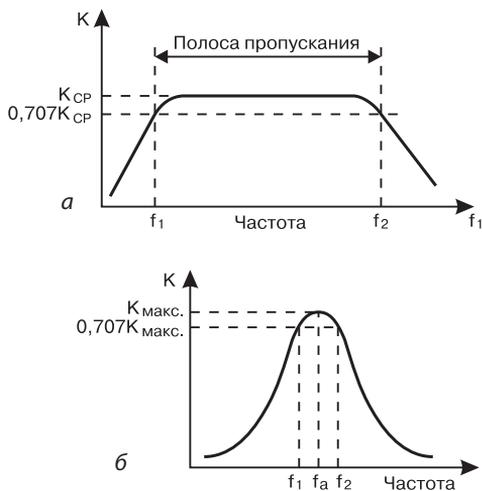


Рис. 6.9. Типичные частотные характеристики:  
а — широкополосного усилителя;  
б — полосового фильтра

## 6.7. Частотомеры

### Принцип действия



Это полезно запомнить.

**Частотомер** — цифровой прибор, предназначенный для измерения и отображения частоты сигнала, подаваемого на его вход.

Многие частотомеры позволяют измерять временные интервалы (например, периоды) входных сигналов; такие приборы называются **универсальными**.

Каждый частотомер имеет генератор временных интервалов — обычно кварцевый генератор, служащий базой времени для частотных и временных измерений. На рис. 6.10 показана упрощенная структурная схема типового универсального частотомера. Входной сигнал проходит через усилитель и аттенюатор. Затем он подается на триггер Шмитта, формирующий острые импульсы синхронно с нарастанием и спадом входного напряжения.

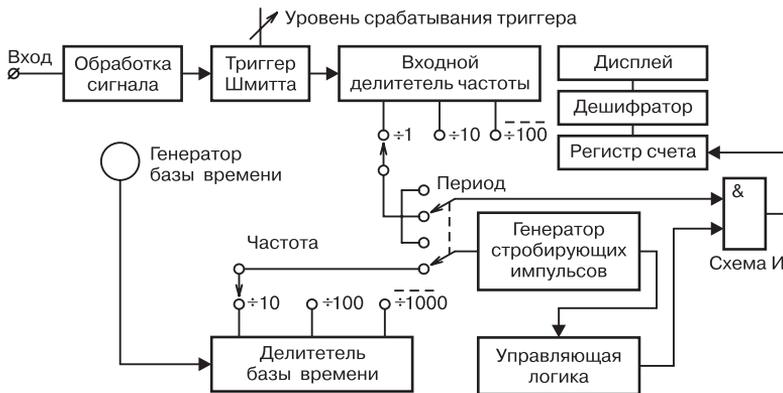


Рис. 6.10. Структурная схема универсального частотомера

Часто пользователь имеет возможность управлять уровнем запуска триггера Шмитта. Входной делитель частоты осуществляет деление частоты входного сигнала в заданное число раз: 1, 10, 100 и т. д.

Для частотных измерений этот делитель обычно не используется, и при установке переключателя рода работы «Частота — Период» в положение «Частота» входные импульсы с позиции делителя «Разделить на 1» непосредственно поступают на вход схемы И («затвора»).

Частота генератора базы времени делится декадными степенями. Соответствующие сигналы используются для запуска стробирующего устройства, формирующего «временные ворота» — интервал времени, в течение которого отсчитывается число импульсов с делителя, установленного на выходе триггера Шмитта. Счетчик считает число импульсов; результат счета отображается на дисплее.

Многие частотомеры позволяют измерять интервалы времени между двумя событиями. Для этой цели генератор базы времени включается и выключается внешними старт-стопными импульсами; они же формируют стробирующий импульс, в течение которого производится счет импульсов. В принципе частотомер позволяет подсчитать число импульсов за любой отрезок времени. Это удобно, например, при подсчете числа случайных импульсов, числа оборотов мотора и т. д.

Некоторые частотомеры позволяют измерять отношение частот. При этом используются два внешних сигнала. Сигнал более низкой частоты управляет затвором, через который проходят подсчитываемые счетчиком импульсы более высокой частоты — этот сигнал выполняет функции генератора базы времени (последний не включается).

## Технические характеристики частотомеров

**Диапазон частот.** Это диапазон, в котором измеряется частота. Для случаев связи по постоянному и переменному току диапазоны частот могут быть различными. В зависимости от стоимости и сложности прибора наивысшая частота может составлять несколько единиц или несколько сотен мегагерц (обычно 100 МГц). СВЧ-частотомеры работают на частотах до нескольких гигагерц.

**Входное сопротивление.** Входное сопротивление (импеданс) обычно составляет 1 МОм или 50 Ом. В некоторых частотомерах входное сопротивление может устанавливаться. Поскольку входные цепи частотомеров широкополосные, повышение входного сопротивления нежелательно из-за соответствующего роста шумов.

**Чувствительность.** Чувствительность — минимальный уровень сигнала, необходимый для переключения, обычно от 10 до 100 мВ (среднеквадратичных). Чувствительность может изменяться при изменении частоты. Для напряжений несинусоидальной формы чувствительность может указываться в амплитудных значениях напряжения. Чувствительность изменяется с помощью аттенюатора (обычно  $\times 1$ ,  $\times 10$ ,  $\times 100$ ). Чувствительности 20 мВ (среднеквадратичных) в положении аттенюатора  $\times 1$  соответствует отсчет 200 мВ в положении  $\times 10$ .

**Уровень переключения.** Для перемещения петли гистерезиса может вводиться постоянная составляющая. Типичный диапазон, в котором устанавливается уровень переключения, составляет  $\pm 3$  В.

**Разрешение.** Наименьшие отображаемые на дисплее прибора изменения измеряемой величины определяют его разрешение; оно обычно оценивается последним значащим разрядом, т. е.  $\pm 1$  в последнем значащем десятичном разряде дисплея. Учитывая показания декадных делителей, можно вычислить соответствующие изменения измеряемой величины. Так, например, при измерении периодов типичное разрешение составляет  $100 \text{ нс}/N$ , где  $N$  — степень деления декадного делителя (1, 10, 100 и т. д.).

**Характеристики базы времени** — частота и уход частоты за счет старения генератора, воздействия температуры и, возможно, питающего напряжения. Обычно частота генератора 10 МГц. Уходы частоты изменяются в широких пределах в зависимости от качества и цены прибора. Для приборов умеренной стоимости:

- ♦ не более 3 частей из  $10^7$  в месяц за счет старения;
- ♦ не более  $\pm 10$  частей из  $10^6$  в диапазоне температур от 0 до 50 °С;
- ♦ не более  $\pm 1$  части на  $10^7$  для  $\pm 10$  %-ного изменения питающего напряжения.

## 6.8. Осциллографы

### Принцип действия

**Осциллограф** — уникальный прибор, необходимый для обнаружения неисправностей и ремонта радиоэлектронной аппаратуры. Осциллограф позволяет оператору наблюдать форму сигналов, легко определять амплитудные значения напряжений, измерять частотные и фазовые соотношения. С помощью двулучевого осциллографа можно сравнивать временные параметры двух сигналов.

На рис. 6.11 приведена обобщенная структурная схема осциллографа. Она включает в себя усилители вертикального и горизонтального отклонения луча, генератор развертки, электронно-лучевую трубку (ЭЛТ) и источники высокого и низкого напряжения питания.

**Усилитель вертикального отклонения** усиливает входной сигнал низких напряжений (порядка 1 мВ) до напряжений, отклоняющих луч так, чтобы этот сигнал было удобно наблюдать на экране ЭЛТ.

Усилитель горизонтального отклонения имеет два входа:

- ♦ один — от генератора развертки, отклоняющий луч по горизонтали экрана ЭЛТ;
- ♦ другой позволяет усиливать и наблюдать на экране внешний сигнал (только по горизонтали).

**Генератор развертки.** На выходе генератора развертки формируется линейно нарастающее напряжение. Оно подается на пластины

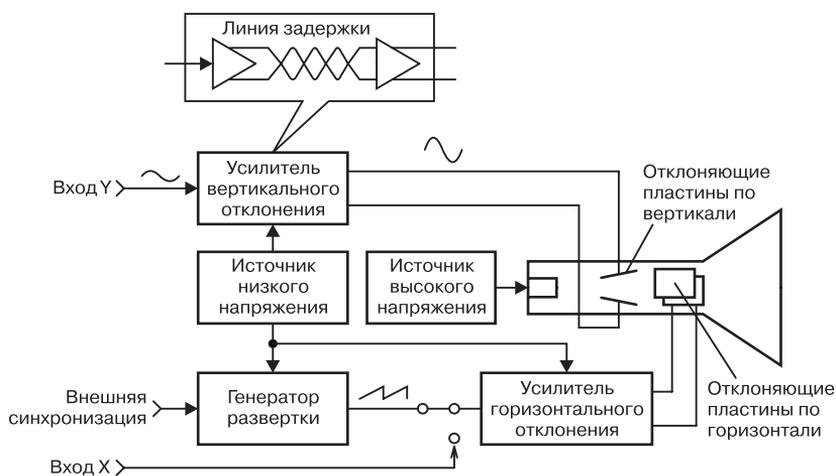


Рис. 6.11. Структурная схема осциллографа

горизонтального отклонения луча трубки и перемещает луч по экрану слева направо. При этом сигнал, поданный на пластины вертикального отклонения, перемещает луч вверх и вниз — таким образом, на экране воспроизводится форма исследуемого сигнала.

Когда луч достигнет правого края экрана, линейно нарастающее напряжение быстро падает — при этом луч перемещается к левому краю экрана. Этот процесс называется **обратным ходом развертки**. Чтобы в это время луч не засвечивал экран, его гасят с помощью предназначенного для этого бланкирующего устройства.

### Двулучевой осциллограф

Для наблюдения двух осциллограмм на экране ЭЛТ можно использовать трубку с двумя электронными прожекторами. Можно также использовать однолучевую ЭЛТ и электронный коммутатор для поочередной подачи сигналов на пластины вертикального отклонения ЭЛТ.

Две осциллограммы на экране однолучевой ЭЛТ можно получить двумя способами. **Первый** из них (метод прерывания сигнала) предусматривает временное разделение сигналов между двумя усилителями вертикального отклонения с достаточно высокой частотой. Мультивибратор управляет электронным ключом, коммутирующим каналы А и В (рис. 6.12). Качество воспроизведения осциллограмм может ухудшаться, если частота прерываний равна или кратна частоте сигнала.

В основе **второго** метода (метода чередования каналов) также лежит схема, показанная на рис. 6.12, но в этом случае ключ коммутирует каналы на всю длительность развертки. Сигнал во время развертки не прерывается, что улучшает качество осциллограммы. Если

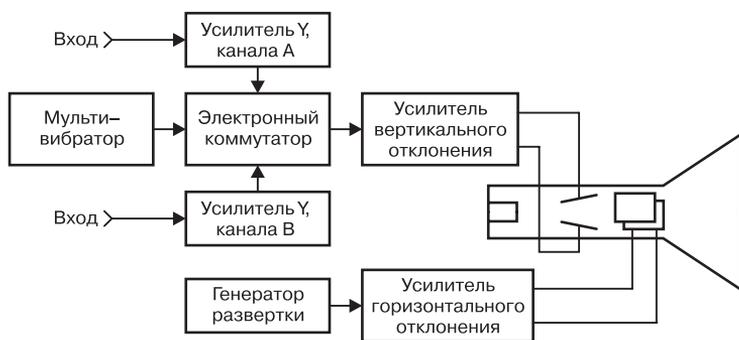


Рис. 6.12. Структурная схема двулучевого осциллографа

этот метод использовать при низкой частоте развертки, оператор на экране попеременно будет видеть два следа луча.

**Совет.**

*Чтобы избежать такого неудобства **на низких частотах**, следует пользоваться методом прерывания изображения, а **на высоких частотах** — методом попеременного воспроизведения.*

В некоторых моделях осциллографов предусмотрено автоматическое переключение рода работы.

### Цифровой запоминающий осциллограф

Эти приборы используют цифровую память и представляют собой дальнейшее усовершенствование стробоскопических осциллографов. Амплитудные значения напряжения входного сигнала на выходе аналого-цифрового преобразователя хранятся в памяти прибора.

Накопленная информация на выходе цифро-аналогового преобразователя формируется в сигнал управления ЭЛТ и отображается по команде оператора. Многие цифровые осциллографы могут запоминать и отображать входные сигналы в реальном масштабе времени в пределах частотных возможностей аналогового устройства.

Большинство таких осциллографов могут отображать нестационарные процессы. Они могут работать с аналоговыми устройствами, имеющими полосу до 50 МГц, и воспроизводить нестационарные процессы длительностью до 10 нс при скоростях до  $200 \times 10^6$  выборок/с. Известны различные модификации таких осциллографов. Способность запоминать информацию в цифровой форме обеспечивает им широкую популярность при выполнении различных измерений.

## ЧИТАЕМ И РИСУЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ

### 7.1. Первое знакомство

Зная основные принципы построения схем, электрические процессы, которые в них протекают, и условные графические обозначения, применяемые в них, можно читать схемы, не прибегая к специальному описанию.

Условные графические обозначения имеют простую форму по начертанию. В них, по возможности, включены наиболее характерные особенности каждого элемента, что облегчает запоминание этих элементов. Они не отображают величину обозначаемых элементов, а только определяют их тип. Один и тот же знак обозначает и маленький по величине и параметрам элемент, и большой. Поэтому схемы не могут определять размеры изделия.

Каждый элемент, входящий в схему, должен иметь **буквенно-цифровое обозначение**, которое необходимо для указания в сокращенном виде сведений о нем.

При выполнении электрических схем применяют следующие линии:

- ♦ **сплошную основную линию** толщиной 0,2...0,6 мм в зависимости от форматов схемы и размеров графических обозначений для изображения линий электрической связи (провод, кабель, шина), всех видов обмоток, резисторов, конденсаторов и др.;
- ♦ **сплошную утолщенную линию** двойной толщины (практически равную 0,6—0,8 мм) для обозначения сердечников и соединений с корпусом;
- ♦ **штриховую линию** толщиной 0,2—0,6 мм для изображения секток электронных приборов;
- ♦ **штриховую линию** половинной толщины, но не менее 0,2 мм, для изображения линий механической связи в электрических схемах, линий экранировки.

## 7.2. Структура обозначений элементов в схемах

Условное буквенно-цифровое обозначение записывают в виде последовательности букв, цифр и знаков в одну строку без пробелов. Количество элементов в обозначении руководящими документами не устанавливается. Обозначение элемента (позиционное обозначение) в общем случае состоит из трех частей: вид элемента; номер элемента; выполняемую функцию.

В **первой части** записывают одну или несколько букв (буквенный код) для указания вида элемента. Во **второй части** записывают одну или несколько цифр для указания номера элемента данного вида. В **третьей части** записывают (в ряде случаев) буквенный код функции элемента.

## 7.3. Однобуквенные коды видов элементов

Буквенные коды **видов элементов** представляют собой группы, которым присвоены обозначения одной буквой. Рассмотрим эти группы.

**Однобуквенные коды наиболее распространенных видов элементов:**

- A** — устройства, например, усилители, приборы телеуправления;
- B** — преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот;
- C** — конденсаторы;
- D** — схемы интегральные, микросборки;
- E** — элементы разные;
- F** — разрядники, предохранители, устройства защитные;
- G** — генераторы, источники питания, кварцевые осцилляторы, ;
- H** — устройства индикационные и сигнальные, например, приборы звуковой и световой сигнализации, индикаторы;
- K** — реле, контакторы, пускатели;
- L** — катушки индуктивности, дроссели;
- M** — двигатели;
- P** — приборы, измерительное оборудование;
- Q** — выключатели и разъединители в силовых цепях;
- R** — резисторы;
- S** — устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных;
- T** — трансформаторы, автотрансформаторы;

- U — преобразователи электрических величин в электрические, устройства связи;
- V — приборы электровакуумные, полупроводниковые;
- W — линии и элементы сверхвысокой частоты, антенны;
- X — соединения контактные;
- Y — устройства механические с электромагнитным приводом;
- Z — устройства оконечные, фильтры, ограничители.

## 10.4. Двухбуквенные коды

Для уточнения вида элементов допускается применять двухбуквенные или даже многобуквенные коды. Элемент может быть обозначен не только одной буквой (общим кодом вида элемента), но и двумя буквами (кодом данного элемента).

При применении двухбуквенных кодов первая буква должна соответствовать группе видов, к которой принадлежит элемент:

- |  |   |
|--|---|
| BD — детектор ионизирующих излучений;                  | DT — устройство задержки;                                     |
| BE — сельсин-приемник;                                 | EL — лампа осветительная;                                     |
| BF — телефон (капсюль);                                | EK — нагревательный элемент;                                  |
| BL — фотоэлемент;                                      | ET — пиропатрон;  |
| BQ — пьезоэлемент;                                     | FA — дискретный элемент защиты по току мгновенного действия;  |
| BR — датчик частоты вращения;                          | FP — дискретный элемент защиты по току инерционного действия; |
| BS — звукосниматель;                                   | FU — предохранитель плавкий;                                  |
| BV — датчик скорости;                                  | FV — дискретный элемент защиты по напряжению;                 |
| BA — громкоговоритель;                                 | GB — батарея;   |
| BB — магнитострикционный элемент;                      | HG — индикатор символьный;                                    |
| BK — тепловой датчик;                                  | HL — прибор световой сигнализации;                            |
| BM — микрофон;   | HA — прибор звуковой сигнализации;                            |
| BP — датчик давления;                                  | KV — реле напряжения;   |
| BC — сельсин-датчик;                                   | KA — реле токовое;  |
| DA — схема интегральная аналоговая;                    |   |
| DD — схема интегральная, цифровая, логический элемент; |   |
| DS — устройства хранения информации;                   |   |

KK — реле электротепловое;	SR — выключатели, срабатывающие от частоты вращения;
KM — магнитный пускатель;	TS — электромагнитный стабилизатор;
KN — реле указательное;	TV — трансформатор напряжения;
KT — реле времени;	TA — трансформатор тока;
LL — дроссель люминесцентного освещения;	UB — модулятор;
PC — счетчик импульсов;	UI — дискриминатор;
PF — частотомер;	UR — демодулятор;
PI — счетчик активной энергии;	UZ — преобразователь частотный, инвертор, генератор частоты, выпрямитель;
PR — омметр;	VD — диод, стабилитрон;
PS — регистрирующий прибор;	VL — прибор электровакуумный;
PV — вольтметр;	VS — тиристор;
PW — ваттметр;	VT — транзистор;
PA — амперметр;	WA — антенна;
PK — счетчик реактивной энергии;	WE — ответвитель;
PT — часы;	WK — короткозамыкатель;
QF — выключатель автоматический;	WS — вентиль;
QK — короткозамыкатель;	WT — трансформатор, неоднородность, фазовращатель;
QS — разъединитель;	WU — аттенюатор;
RK — терморезистор;	XA — токоъемник, контакт скользящий;
RP — потенциометр;	XP — штырь;
RS — шунт измерительный;	XS — гнездо;
RU — варистор;	XT — соединение разборное;
SA — выключатель или переключатель;	XW — соединитель высокочастотный;
SB — выключатель кнопочный;	YA — электромагнит;
SF — выключатель автоматический;	YB — тормоз с электромагнитным приводом;
SK — выключатели, срабатывающие от температуры;	YC — муфта с электромагнитным приводом;
SL — выключатели, срабатывающие от уровня;	YN — электромагнитный патрон или плита;
SP — выключатели, срабатывающие от давления;	ZL — ограничитель;
SQ — выключатели, срабатывающие от положения;	ZQ — фильтр кварцевый.

## ИНТЕРНЕТ ДЛЯ РАДИОЛЮБИТЕЛЕЙ

В процессе работы радиолюбителям приходится интенсивно «путешествовать» по Интернету, встречая интересные сайты.

<b>Ресурсы Интернет от авторов книги</b>	
<a href="http://elektrik.info/">http://elektrik.info/</a>	Практическая электротехника и электроника — на материалах сайта написана 5-я глава книги
<a href="http://electricalschool.info/">http://electricalschool.info/</a>	Энциклопедические статьи, в том числе, и по электронике
<b>Электронные порталы</b>	
<a href="http://cxem.net/">http://cxem.net/</a>	Сайт Паяльник посвящен радиоэлектронике. Здесь вы сможете найти большое количество радиоэлектронных схем, технических решений, радиолюбительских советов, программы и многое другое, т. е. все то, что необходимо для радиолюбителя или профессионала. Основной целью сайта является популяризация современной радиоэлектроники в России. На сегодняшний день сайт Паяльник занимает одну из лидирующих позиций в русскоязычном интернете по теме радиоэлектроника
<a href="http://www.radioradar.net/about_project/index.html">http://www.radioradar.net/about_project/index.html</a>	<b>Белорусский электронный портал</b> — обширная разносторонняя актуальная информация по радиотехнике и электронике
<a href="http://www.radio-portal.ru/">http://www.radio-portal.ru/</a>	Радиолюбительский портал
<a href="http://radiopartal.tut.su/">http://radiopartal.tut.su/</a>	Данный сайт посвящен начинающим Радиолюбителям, Радиотехникам и не только. И всем остальным, которые планируют заняться этим очень интересным и увлекательным хобби, делом, а может у кого и работа. Так что помощь и поддержка ни когда не помешает. Здесь Вы найдете различные уроки начиная с самого начала п подробным описанием каждого элемента и его назначением ну и т. д.
<a href="http://www.radiosait.ru/">http://www.radiosait.ru/</a>	Схемы, описания радиолюбительских конструкций, обсуждение на форуме, радиоблоги и многое другое
<a href="http://www.cqham.ru/">http://www.cqham.ru/</a>	Технический портал радиолюбителей России
<a href="http://www.qrz.ru/">http://www.qrz.ru/</a>	Сервер радиолюбителей
<a href="http://www.rlocman.ru">www.rlocman.ru</a>	<b>Электроника</b> — Большой информационный ресурс
<a href="http://kazu.ru">kazu.ru</a>	<b>Электронный портал.</b> Каталог ссылок на принципиальные схемы, статьи, документация. Справочник по электронным компонентам. Система поиска компонентов по онлайн-складам. Форум
<b>Электронные библиотеки</b>	
<a href="http://www.cqham.ru/lib.htm">www.cqham.ru/lib.htm</a>	<b>Библиотека радиолюбителя.</b> Внушительная библиотека по радиоделу. Собрание содержит как архивы профильных журналов (Радиолюбитель, Техника), так и большое количество книг по радиосвязи, теории полей, схемотехнике, созданию антенн. Уникальный контент!
<a href="http://www.umup.narod.ru/">www.umup.narod.ru/</a>	<b>Библиотека технической литературы по разделам радиотехники:</b> Электрические цепи и сигналы, Электротехника, Схемотехника, Электроника, Цифровые устройства, микропроцессоры и ПЛИС, Основы цифровой связи, Прием и обработка сигналов, Конструирование и приборостроение РЭС, Радиосистемы передачи информации, Радиолокация, Радионавигация, Радиоавтоматика, Антенная техника и СВЧ и многим другим!

<a href="http://www.tstu.ru/r.php?r=education.elib&amp;id=12">www.tstu.ru/r.php?r=education.elib&amp;id=12</a>	<b>Электронная библиотека, раздел: «Электроника, электротехника, радиотехника, приборостроение»</b> – Тамбовский государственный технический университет
<a href="http://www.softsklad.ru/science/spravs/5programs2.html">www.softsklad.ru/science/spravs/5programs2.html</a>	<b>СофтСклад.Ру</b> — Энциклопедии, словари и справочники
<a href="http://mirknig.com/index.php?do=search">http://mirknig.com/index.php?do=search</a>	Книги и журналы по разделам
<b>Схемы</b>	
<a href="http://www.radioman.ru/shem/">http://www.radioman.ru/shem/</a>	Каталог практических схем для радиотехника
<a href="http://web.geowap.mobi/spravs.html">http://web.geowap.mobi/spravs.html</a>	В данном разделе вы найдете схемы различных радиолюбительских конструкций и другую техническую информацию и документацию
<a href="http://cxema.3dn.ru/">http://cxema.3dn.ru/</a>	Радиолюбительские схемы
<a href="http://electronic.vladbazar.com/">http://electronic.vladbazar.com/</a>	Сайт для радиолюбителей — это сайт, где начинающий или уже опытный радиолюбитель может найти и бесплатно скачать любые понравившиеся принципиальные или электрические схемы большинства интересных устройств
<a href="http://www.radiofan.ru">www.radiofan.ru</a>	<b>Сайт «Схемы, справочники, программы».</b> На нем вы найдете схемы телевизоров, видеомагнитофонов, автомагнитол, телефонов и другой бытовой и офисной техники, описания, прошивки EEPROM, SEEPROM, рекомендации по ремонту аппаратуры, различные справочные данные. Вся информация предоставляется бесплатно!
<a href="http://www.schematic.by.ru/">www.schematic.by.ru/</a>	<b>Каталог электрических принципиальных схем.</b> Схемы, чертежи печатных плат и подробное описание схмотехнических устройств на все случаи жизни: пробники, генераторы сигналов, источники питания, электроника для дома и быта, средства защиты объектов, жучки, электроника для автомобилистов, музыкантов, схемы теле-, видео-, аудиоаппаратуры и много другое
<a href="http://www.master-tv.com">www.master-tv.com</a>	Схемы, справочники для ремонта и настройки
<a href="http://www.chertezhi.ru">www.chertezhi.ru</a>	<b>Чертежи.РУ</b> — база данных различных чертежей, схем, самоделок, которые можно свободно скачать с сайта и использовать для своих нужд, кладовая полезна как студентам технических вузов так и всем интересующимся техникой и любителям поработать головой и руками
<a href="http://www.kruso.narod.ru/poisk.htm">www.kruso.narod.ru/poisk.htm</a>	Электрические схемы аудио и видеотехники
<a href="http://irls.narod.ru/">http://irls.narod.ru/</a>	Каталог радиолюбительских схем
<b>Сайты для радиолюбителей</b>	
<a href="http://www.radiomaster.net/index.php">www.radiomaster.net/index.php</a>	Сайт был разработан для радиолюбителей, студентов электротехнических специальностей, школьников, посещающих радиолюбительские кружки, и всех тех, кому небезынтересно знать, как устроена и работает различная электронная техника
<a href="http://www.lamaster.ru">www.lamaster.ru</a>	На страницах этого сайта Вы найдете информацию по ремонту современной бытовой техники — от радиотелефона, телевизора, до мобильных телефонов, компьютеров. Скачаете программы для прошивки, разлочки, калибровки мобильных телефонов. Узнаете некоторые секреты заработка в Интернете
<a href="http://ra4a.narod.ru/portal/Sprawka.html">ra4a.narod.ru/portal/Sprawka.html</a>	Сайт радиолюбителей Волгограда. Справочные данные и большое количество тематическое информации
<a href="http://www.radioland.net.ua/">http://www.radioland.net.ua/</a>	Сайт для радиолюбителей. Схемы, программы, справочные материалы, рефераты, курсовые и многое другое
<a href="http://shemotehnik.ru/">http://shemotehnik.ru/</a>	Сайт рассчитан на радиолюбительскую аудиторию
<b>Персональные сайты</b>	
<a href="http://valvol.nightmail.ru/books.html">valvol.nightmail.ru/books.html</a>	<b>Сайт Валентина Володина</b> — большое количество интересных книг электротехнической направленности.

<a href="http://ru3ga.qrz.ru/file.shtml">ru3ga.qrz.ru/file.shtml</a>	<b>Страничка, адресованная «паяющим» радиолюбителям.</b> Все, что здесь будет находиться, взято из различных книг и журналов, изданных за последние тридцать лет.
<a href="http://www.elremont.nm.ru">www.elremont.nm.ru</a>	Ремонт бытовой техники своими силами. Это сайт не для специалистов по ремонту. Здесь описаны способы ремонта несложных неисправностей бытовой техники, которые составляют как минимум 50% от всех неисправностей. Их может устранить любой человек? не обремененный толщиной кошелька и с руками, растущими оттуда откуда надо и относительно трезвой головой
<a href="http://www.valtar.ru/encyclop.htm">www.valtar.ru/encyclop.htm</a>	<b>Энциклопедия магнетизма.</b> Энциклопедия, литература, «магнитные» сайты, фотогалерея магнитов. Когда открываешь справочник или учебник по магнетизму, длинностраничная структура подачи материала, обилие непонятных формул и незнакомых слов сразу убивает всякое желание узнать что-то новое. Поэтому целью этой энциклопедии является предельно понятное представление материала, так, чтобы каждый нормальный человек смог легко понять и представить, о чем идет речь. Кроме того, в процессе описания явления магнетизма особое внимание уделено практическим экспериментам с магнитами и многочисленным натурным фотографиям, что дает читателю уверенность в реальности представленного материала
<a href="http://irlx.narod.ru/">http://irlx.narod.ru/</a>	Евгений Мерзликин приветствует вас на этом сайте. Он пишет: «Я радиолюбитель. И это продолжается уже много лет. На своей странице я хотел бы поделиться своими схемами и конструкциями. Все они разбиты по тематике. В каждой теме несколько описаний — от простого к сложному»
<b>Контроллеры</b>	
<a href="http://www.bvn123.narod.ru">www.bvn123.narod.ru</a>	Разработка устройств на МК, публикации, микроконтроллеры AVR: с чего начать
<a href="http://www.avr.nikolaew.org">www.avr.nikolaew.org</a>	Осваиваем AVR!
<a href="http://www.efo.ru/cgi-bin/go?732">www.efo.ru/cgi-bin/go?732</a>	Аппаратно-программные средства поддержки разработок на основе микроконтроллеров AVR фирмы Atmel
<a href="http://www.radiopirat.h11.ru/pic/index.htm">www.radiopirat.h11.ru/pic/index.htm</a>	Что такое PIC. Краткое описание ассемблера MPASM. Разработка устройств на PIC-контроллерах. MPLAB для начинающих. Справочная информация. Микроконтроллеры PIC16F84. Подробная документация для начинающих
<b>Поисковые системы</b>	
<a href="http://go.elec.ru/">go.elec.ru/</a>	<b>Поисковый сервис GO.ELEC.RU.</b> Поиск по электротехническим сайтам: предназначен для поиска по русскоязычной зоне интернета. Кроме того, поиск является узконаправленным тематическим сервисом. В базу попадают только сайты, тематически связанные с электротехникой и энергетикой. Все сайты, поставленные в очередь на добавление в базу, проходят ручную модерацию, что позволяет поддерживать тематическую релевантность поисковой базы
<a href="http://www.1el.ru">www.1el.ru</a>	Первый электротехнический поиск

# СПРАВОЧНИКИ ПО ЭЛЕКТРОННЫМ КОМПОНЕНТАМ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

О чем сайт	Адрес в сети Интернет
Аналоги зарубежных динисторов и тиристоров	<a href="http://www.shematic.net/page-110.html">http://www.shematic.net/page-110.html</a>
Аналоги отечественных диодов	<a href="http://www.radiosvit.com/publ/9-1-0-182">http://www.radiosvit.com/publ/9-1-0-182</a>
Аналоги отечественных микросхем	<a href="http://www.rlocman.ru/comp/koz/adv/">http://www.rlocman.ru/comp/koz/adv/</a>
Зарубежные системы маркировки полупроводниковых приборов	<a href="http://dims.karelia.ru/rel/mark.shtml">http://dims.karelia.ru/rel/mark.shtml</a>
Каталог аналогов отечественных диодов и стабилитронов	<a href="http://ntpo.com/electronics/analog/analog_ot_diod/1.shtml">http://ntpo.com/electronics/analog/analog_ot_diod/1.shtml</a>
Каталог импортных компонентов	<a href="http://www.necspb.com/impcomp/">http://www.necspb.com/impcomp/</a>
Каталог радиокомпонентов	<a href="http://e-comp.kiev.ua/">http://e-comp.kiev.ua/</a>
Кварцевые резонаторы	<a href="http://www.quartz1.ru/Si/lighters.htm">http://www.quartz1.ru/Si/lighters.htm</a>
Кварцевые резонаторы	<a href="http://quartzsens.ru/">http://quartzsens.ru/</a>
Кодовая книга SMD элементов	<a href="http://www.marsport.org.uk/smd/mainframe.htm">http://www.marsport.org.uk/smd/mainframe.htm</a>
Логотипы иностранных производителей	<a href="http://www.advanced-tech.com/ic_logos/ic_logos.htm">http://www.advanced-tech.com/ic_logos/ic_logos.htm</a>
Маркировка компонентов	<a href="http://www.kruso.su/markirovka/36-koyefficient.html">http://www.kruso.su/markirovka/36-koyefficient.html</a>
Микросхемы компараторов и их отечественные аналоги	<a href="http://xradio.net.ru/content/docs/2007.html">http://xradio.net.ru/content/docs/2007.html</a>
Микросхемы различных серий и их отечественные аналоги	<a href="http://ledlabs.narod.ru/data_40.html">http://ledlabs.narod.ru/data_40.html</a>
Оптические датчики фирмы Vishay	<a href="http://www.vishay.com/optical-sensors/">http://www.vishay.com/optical-sensors/</a>
Отечественные светодиоды	<a href="http://pvpgn.nov.ru/products/leds_other/">http://pvpgn.nov.ru/products/leds_other/</a>
Отечественные твердотельные оптоэлектронные реле	<a href="http://lib.chipdip.ru/">http://lib.chipdip.ru/</a>
Радиоэлементы фирмы Omron	<a href="http://www.omron.co.ua/index.php">http://www.omron.co.ua/index.php</a>
Светодиодные лампы	<a href="http://www.volgaelectro.ru/index.php/">http://www.volgaelectro.ru/index.php/</a>
Система обозначений пьезоэлектрических резонаторов	<a href="http://www.re-n.ru/spravka/quartz.php">http://www.re-n.ru/spravka/quartz.php</a>
Справочник по отечественным и зарубежным интегральным микросхемам	<a href="http://rephone.ru/arhiv-sprav.html">http://rephone.ru/arhiv-sprav.html</a>
Справочник по радиокомпонентам	<a href="http://ra4a.narod.ru/portal/LIGHT.htm">http://ra4a.narod.ru/portal/LIGHT.htm</a>
Справочник по радиокомпонентам	<a href="http://www.dialelectrolux.ru/catalog/">http://www.dialelectrolux.ru/catalog/</a>
Справочник по радиокомпонентам	<a href="http://www.realchip.ru/">http://www.realchip.ru/</a>
Справочник по разъемам	<a href="http://www.symmetron.ru/suppliers/connect/sockets.pdf">http://www.symmetron.ru/suppliers/connect/sockets.pdf</a>
Справочник по разъемам	<a href="http://www.premier-electric.com/files/connectors/pan_2.htm">http://www.premier-electric.com/files/connectors/pan_2.htm</a>
Справочник по светодиодам Paralight	<a href="http://www.miconica.ru/docs/paralight/paralight.shtml">http://www.miconica.ru/docs/paralight/paralight.shtml</a>
Справочник по электронным компонентам	<a href="http://www.imek.su/catalog350_1.html">http://www.imek.su/catalog350_1.html</a>
Справочник по электронным компонентам	<a href="http://www.term.ru/price0.htm">http://www.term.ru/price0.htm</a>

О чем сайт	Адрес в сети Интернет
Справочники по радиокомпонентам	<a href="http://cityradio.narod.ru/spr/">http://cityradio.narod.ru/spr/</a>
Справочники по радиокомпонентам	<a href="http://vicgain.sdot.ru/kondenr/kondr.02.htm">http://vicgain.sdot.ru/kondenr/kondr.02.htm</a>
Справочники по радиокомпонентам	<a href="http://www.tdk.com">http://www.tdk.com</a>
Справочные данные по аналогам транзисторов и микросхем	<a href="http://gete.ru/page_152.html">http://gete.ru/page_152.html</a>
Справочные данные по пассивным и активным компонентам	<a href="http://www.rell.com/Pages/">http://www.rell.com/Pages/</a>
Справочные данные по светодиодам фирмы «Протон»	<a href="http://www.proton-orel.ru/">http://www.proton-orel.ru/</a>
Справочные данные по светодиодам фирмы Kingbright	<a href="http://www.kingbright.com/">http://www.kingbright.com/</a>
Справочные данные по светодиодам фирмы ParaLight	<a href="http://www.para.com.tw/products/">http://www.para.com.tw/products/</a>
Справочные данные по электронным компонентам	<a href="http://www.diagram.com.ua/info">http://www.diagram.com.ua/info</a>
Справочные материалы по микросхемам	<a href="http://tolik888.h1.ru/sprav/sprav25.htm">http://tolik888.h1.ru/sprav/sprav25.htm</a>
Твердотельные реле фирмы Teledyne	<a href="http://www.teledynereleys.com/industrialcommercial.asp">http://www.teledynereleys.com/industrialcommercial.asp</a>
Твердотельные реле фирмы Tyco Electronics	<a href="http://www.tycoelectronic.com/">http://www.tycoelectronic.com/</a>
Типы реле	<a href="http://www.radiorele.ru/">http://www.radiorele.ru/</a>
Фоточувствительные элементы	<a href="http://www.chipdip.ru/catalog/1556.aspx">http://www.chipdip.ru/catalog/1556.aspx</a>
Цветовая маркировка диодов	<a href="http://www.rlocman.ru/comp/koz/diodes/dih12.htm">http://www.rlocman.ru/comp/koz/diodes/dih12.htm</a>
Цветовая маркировка диодов по системе JEDEC	<a href="http://ra4a.narod.ru/portal/d2.jpg">http://ra4a.narod.ru/portal/d2.jpg</a>
Цветовая маркировка кабелей	<a href="http://nemesi5.lonestar.org/reference/telecom/cables/25pair.html">http://nemesi5.lonestar.org/reference/telecom/cables/25pair.html</a>
Цветовая маркировка кабелей	<a href="http://www.ruscable.ru/info/lan/teldor/comment2.htm">http://www.ruscable.ru/info/lan/teldor/comment2.htm</a>
Цветовая маркировка конденсаторов	<a href="http://www.asc-development.ru/markirovka-19.html">http://www.asc-development.ru/markirovka-19.html</a>
Цветовая маркировка конденсаторов	<a href="http://www.terraelectronica.ru/files/notes/s60420.pdf">http://www.terraelectronica.ru/files/notes/s60420.pdf</a>
Цветовая маркировка конденсаторов	<a href="http://www.asc-development.ru/markirovka-13.html">http://www.asc-development.ru/markirovka-13.html</a>
Цветовая маркировка резисторов	<a href="http://ws.belti.ru/~electron/sprav.htm">http://ws.belti.ru/~electron/sprav.htm</a>
Цветовая маркировка резисторов и конденсаторов	<a href="http://pcmod.h16.ru/art/rd.html">http://pcmod.h16.ru/art/rd.html</a>
Цветовая маркировка трехфазных цепей	<a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Three-phase_electric_power#Color_codes">http://en.wikipedia.org/wiki/Three-phase_electric_power#Color_codes</a>
Цветовая маркировка элементов	<a href="http://www.pryriz.org.ua/Markirovka/drosseli.htm">http://www.pryriz.org.ua/Markirovka/drosseli.htm</a>
Цветовая маркировка отечественных и импортных радиодеталей	<a href="http://www.radiodetali.in.ua/p11.htm">http://www.radiodetali.in.ua/p11.htm</a>
Элементная база оптоэлектронных приборов и устройств	<a href="http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook138/01/index.html?part-003.htm">http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook138/01/index.html?part-003.htm</a>

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамов В. М.* Электронные приборы и устройства. — М.: Транспорт — 1989.
- Белов А. В.* Самоучитель по микропроцессорной технике. — СПб.: Наука и техника. — 2003.
- Бензарь В. К.* Словарь-справочник по электротехнике, промышленной электронике и автоматике, 2-е изд., перераб. и доп. — Мн.: Высшая школа. — 1985.
- Блажкин А. Т.* Общая электротехника. — М.: Энергоатомиздат. — 1986.
- Герасимов В. Г.* Основы промышленной электроники. — М.: Высшая школа. — 1986.
- Горбачев Г. Н., Чаплыгин Е. Е.* Промышленная электроника. — М.: Энергоиздат. — 1988.
- Жеребцов И. П.* Основы электроники Л.: Энергоатомиздат. — 1990.
- Забродин Ю. С.* Промышленная электроника. — М.: Высшая школа. — 1982.
- Иванов А. А.* Справочник по электротехнике. — К.: Вища школа. — 1984.
- Каталог LOGO!
- Колонтаевский Ю. Ф.* Радиоэлектроника. — М.: Высшая школа. — 1991.
- Корякин-Черняк С. Л.* Маркировка, обозначения, аналоги электронных компонентов. Карманный справочник. — СПб.: Наука и Техника. — 2010.
- Корякин-Черняк С. Л., Мукомол Е. А., Партала О. Н.* Справочник по цветовой, кодовой маркировке и взаимозаменяемости компонентов + цветные наклейки. — СПб.: Наука и Техника. — 2010.
- Кузин А. В., Жаворонок М. А.* Микропроцессорная техника. — М.: Академия. — 2004.
- Мансуров Н. Н., Попов В. С.* Теоретическая электротехника. — М.: Энергия. — 1965.
- Преображенский В. И.* Полупроводниковые выпрямители. — М.: Энергоиздат. — 1986.
- Сазонов А. А.* Микроэлектронные устройства автоматики. — М.: Энергоатомиздат. — 1991.
- Тули М.* Справочное пособие по цифровой электронике. — М.: Энергоатомиздат. — 1990.

## СПИСОК РЕСУРСОВ ИНТЕРНЕТ

<http://arist-co.ru/>  
<http://chav1961.narod.ru/>  
<http://cxem.net/>  
<http://cxema.3dn.ru/>  
<http://datagor.ru/>  
<http://electricalschool.info/>  
<http://elektrik.info/>  
<http://electrolibrary.info/>  
<http://electronic.vladbazar.com/>  
<http://fi-com.ru/>  
<http://forum.cxem.net/>  
<http://forum.qrz.ru/>  
<http://hi-tech.mail.ru/>  
<http://interlavka.narod.ru/>  
<http://irls.narod.ru/>  
<http://kazus.ru/>  
<http://lampilich.narod.ru/>  
<http://masters.donntu.edu.ua/>  
<http://mimiwaxer.narod.ru/>  
<http://mirknig.com/>  
<http://radiocon-net.narod.ru/>  
<http://radiopartal.tut.su/>  
<http://ru.wikipedia.org/>  
<http://shemotehnik.ru/>  
<http://transistor.3dn.ru/>  
<http://vmmt-comp.do.am/>  
<http://voodoolife.narod.ru/>  
<http://web.geowap.mobi/>  
<http://www.1el.ru/>  
<http://www.arrow.com/>  
<http://www.asc-development.ru/>  
<http://www.avr.nikolaew.org/>  
<http://www.bvn123.narod.ru/>  
<http://www.chertezhi.ru/>  
<http://www.compitech.ru/>  
<http://www.computerra.ru/>  
<http://www.cqham.ru/>  
<http://www.cqham.ru/>  
<http://www.efo.ru/>  
<http://www.elremont.nm.ru/>  
<http://www.enext.com.ua/>  
<http://www.ersa.com/>  
<http://www.ersa.ru/>  
<http://www.go.elec.ru/>  
<http://www.homepc.ru/>  
<http://www.ikarab.narod.ru/>  
<http://www.kazus.ru/>  
<http://www.kruso.narod.ru/>  
<http://www.lamaster.ru/>  
<http://www.master-tv.com/>  
<http://www.myrobot.ru/>  
<http://www.otwet.ru/>  
<http://www.promelec.ru/>  
<http://www.qrz.ru/>  
<http://www.ra4a.narod.ru/>  
<http://www.radiodetali.com/>  
<http://www.radiofan.ru/>  
<http://www.radioland.net.ua/>  
<http://www.radioman.ru/>  
<http://www.radiomaster.net/>  
<http://www.radiopirat.h11.ru/>  
<http://www.radio-portal.ru/>  
<http://www.radioradar.net/>  
<http://www.radiosait.ru/>  
<http://www.rcdesign.ru/>  
<http://www.rlocman.ru/>  
<http://www.ru3ga.qrz.ru/>  
<http://www.schematic.by.ru/>  
<http://www.softsklad.ru/>  
<http://www.tstu.ru/>  
<http://www.umup.narod.ru/>  
<http://www.valtar.ru/>  
<http://www.valvol.nightmail.ru/>



# Книжный магазин

издательства «Наука и Техника»  
приглашает за покупками

Предлагаем широкий ассортимент  
технической литературы ведущих  
издательств (более 2000 наименований):

- Компьютерная литература
- Радиоэлектроника
- Телекоммуникации и связь
- Транспорт, строительство
- Научно-популярная медицина,  
педагогика, психология

Чем привлекателен наш магазин:

- низкие цены;
- ежедневное пополнение ассортимента;
- поиск книг под заказ;
- обслуживание за наличный  
и безналичный расчет;
- гибкая система скидок;
- комплектование библиотек;
- обеспечение школ учебниками  
по информатике;
- возможна доставка.

**Наш адрес:** г. Санкт-Петербург  
пр. Обуховской Обороны д. 107  
ст. метро Елизаровская

**Справки о наличии книг по тел. 412-70-25**

**E-mail: [admin@nit.com.ru](mailto:admin@nit.com.ru)**

(рассылка ассортиментного прайс-листа по запросу)

Мы работаем с 10 до 19 часов без обеда и выходных  
(в субботу и воскресенье до 18 час)

## Уважаемые господа! Книги издательства «Наука и Техника»

Вы можете заказать наложенным платежом  
в нашем интернет-магазине

[www.nit.com.ru](http://www.nit.com.ru),

а также приобрести

### ➤ в крупнейших магазинах г. Москвы:

Т Д «БИБЛИО-ГЛОБУС»	ул. Мясницкая, д. 6/3, стр. 1, ст. М «Лубянка»	тел. (495) 781-19-00, 624-46-80
Московский Дом Книги,	ул.Новый Арбат, 8, ст. М «Арбатская», «ДК на Новом Арбате»	тел. (495) 789-35-91
Московский Дом Книги,	Ленинский пр., д.40, ст. М «Ленинский пр.», «Дом технической книги»	тел. (499) 137-60-19
Московский Дом Книги,	Комсомольский пр., д. 25, ст. М «Фрунзенская», «Дом медицинской книги»	тел. (499) 245-39-27
Дом книги «Молодая гвардия»	ул. Б. Полянка, д. 28, стр. 1, ст. М «Полянка»	тел. (499) 238-50-01
Сеть магазинов «Новый книжный»	тел. (495) 937-85-81, (499) 177-22-11	

### ➤ в крупнейших магазинах г. Санкт-Петербурга:

Санкт-Петербургский Дом Книги	Невский пр. 28 тел. (812) 448-23-57
«Энергия»	Московский пр. 57 тел. (812) 373-01-47
«Аристотель»	ул. А. Дундича 36, корп. 1 тел. (812) 778-00-95
Сеть магазинов «Книжный Дом»	тел. (812) 559-98-28

### ➤ в регионах России:

г. Воронеж, пл. Ленина д. 4	«Амиталь»	(4732) 24-24-90
г. Екатеринбург, ул. Антона Валека д. 12	«Дом книги»	(343) 253-50-10
г. Екатеринбург	Сеть магазинов «100 000 книг на Декабристов»	(343) 353-09-40
г. Нижний Новгород, ул. Советская д. 14	«Дом книги»	(831) 277-52-07
г. Смоленск, ул. Октябрьской революции д. 13	«Кругозор»	(4812) 65-86-65
г. Челябинск, ул. Монакова, д. 31	«Техническая книга»	(904) 972 50 04
г. Хабаровск	Сеть книжно-канцелярских магазинов фирмы «Мирс»	(4212) 26-87-30

### ➤ и на Украине (оптом и в розницу) через представительство издательства

г. Киев, ул. Курчатова 9/21, «Наука и Техника», ст. М «Лесная»  
(044) 516-38-66

e-mail: [nits@voliacable.com](mailto:nits@voliacable.com), [nitkiev@gmail.com](mailto:nitkiev@gmail.com)

**Мы рады сотрудничеству с Вами!**