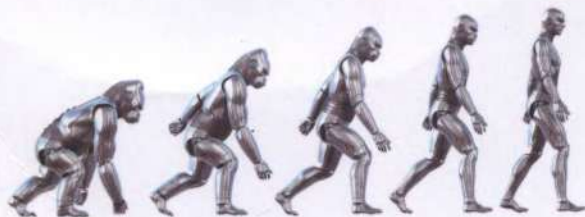




РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

ОТ АЗОВ ДО СОЗДАНИЯ  
практических устройств

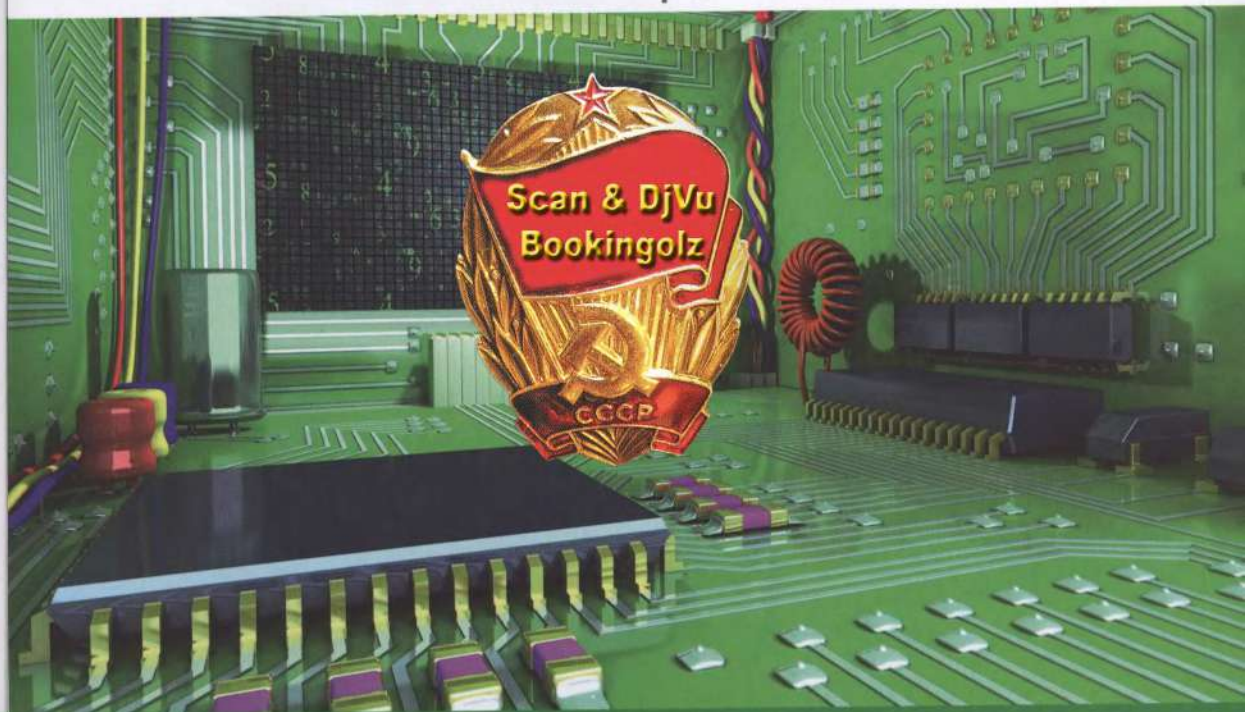


# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

С QR-кодами для перехода  
к необходимым ресурсам

Гололобов В.Н.

ОТ АЗОВ  
ДО СОЗДАНИЯ  
практических  
устройств



[nit.com.ru](http://nit.com.ru)

- От простых схем к схемам на микроконтроллерах
- По электронике с мультиметром и осциллографом
- Работа с виртуальными измерительными приборами
- Расчеты, моделирование, макетирование устройств
- Создание передатчиков и приемников своими руками
- Освоение работы с STM32F407, Flowcode 8, SimulIDE...

Гололобов В.Н.

# РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

ОТ АЗОВ ДО СОЗДАНИЯ  
ПРАКТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ



---

Наука и Техника, Санкт-Петербург

УДК 621.314:621.311.6  
ББК 32.816

Гололобов В.Н.

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА. От азов до создания практических устройств.** — СПб.: Наука и Техника, 2020. — 528 с., илл.

**ISBN 978-5-94387-895-4**

Перед вами интерактивный самоучитель по радиоэлектронике. Для удобства освоения большого объема материала книга разделена на пять самостоятельных частей, которые позволяют читателю пошагово пройти путь от начинающего радиолюбителя до продвинутого разработчика электронных устройств.

Большое внимание уделено изучению современной элементной базы, азов радиоэлектронной техники, а также освоению принципа действия схем, методики их настройки. Особую помощь в освоении многообразия радиоэлектронных устройств оказывают современные программы моделирования электрических цепей (схем). Автор рассказывает о доступных бесплатных программах моделирования. Описываются способы работы с виртуальными измерительными приборами. Раскрываются секреты разработчиков.

Читатель знакомится с «кирпичиками» схемотехники: усилителями, фильтрами, элементами автоматики, учится работать с микроконтроллерами. А затем от простых понятий переходит к первой практике. Помогают в освоении эксперименты или практические работы, которые проводит автор по ходу изложения.

В необходимых случаях по тексту книги стоят QR-коды, предназначенные для мгновенного перехода к необходимым ресурсам (необходимому ПО, онлайн видео, справочной информации). Приложение «Сканер QR и штрих-кодов», запущенное на смартфоне (планшете), позволяет быстро перейти по необходимой ссылке при наведении гаджета на QR-код по ходу чтения книги. Книга предназначена для широкого круга радиолюбителей, учащихся технических колледжей, студентов техникумов и ВУЗов.



9 785943 878954  
**ISBN 978-5-94387-895-4**

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

Контактный телефон издательства  
(812) 412-70-26

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

12+

© Белов А.В.  
© Наука и Техника (оригинал-макет)

ООО «Наука и Техника».

Лицензия № 000350 от 23 декабря 1999 года.  
198097, г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д. 29.  
Подписано в печать 16.03.2020. Формат 70×100 1/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем 33 п. л.  
Тираж 1200 экз. Заказ № 2860.

Отпечатано с готовых файлов заказчика  
в АО «Первая Образцовая типография»,  
филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ»,  
432980, Россия, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	<b>10</b>
Современные радиолюбители — кто они? .....	10
Призываем на помощь QR код .....	11
О чем можно прочесть в книге .....	13
<b>Часть I. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И БАЗОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА</b> .....	<b>15</b>
<b>Глава 1. Понятия и термины радиоэлектроники</b> .....	<b>17</b>
Чем различаются электроника и радиоэлектроника .....	17
Электродвижущая сила, она же ЭДС .....	18
Электрический ток и его сила .....	18
Постоянный или переменный ток течет в цепи батарейки и резистора? .....	19
Как переменному току стать сигналом. ....	19
Электрическая цепь: звенья, участки, контуры .....	20
Принципиальные схемы .....	20
Пассивные элементы любой схемы: что в журнале, что в Интернете. .	20
Совместные возможности пассивных элементов .....	23
Источники питания электрической цепи .....	25
Полезные правила Кирхгофа .....	26
Транзистор — активный участник цепи .....	27
Чем полевые транзисторы похожи на радиолампы .....	28
Соберем схему на макетной плате .....	30
Модуляции в радиоэлектронике: амплитудная и частотная .....	31
Малосигнальные параметры .....	34
Некоторое обобщение .....	36
О программе «Начала электроники» .....	37
<b>Глава 2. От простых понятий к первой практике</b> .....	<b>37</b>
Начинаем знакомство с программой .....	38
Сопротивление проводников .....	41
Измерения с помощью виртуальных мультиметров .....	42
За компьютером и без него .....	44
Сложная схема из простых элементов .....	47
Погрешности или нет... ..	49
Что дает преобразование электрической цепи? .....	51
Немного о мощности до «самовозгорания» .....	53
О предохранителях и нагрузках .....	54
Осциллограф вам в помощь! .....	57
Выдержит ли резистор то, что вы с ним делаете? .....	58
Самые простые опыты с транзистором .....	60
Выбор сопротивления нагрузки .....	63
Расчет сопротивления в цепи базы .....	63



К реальной макетной плате! .....	64
О чем нам расскажут цифры .....	66
Первая примерка или.....	67
Насколько можно доверять компьютерной программе .....	68
Понятие информации .....	69
<b>Глава 3. Радиосигналы из прошлого и настоящего .....</b>	<b>69</b>
Поговорим о радиопередачах .....	70
Говорит Москва! .....	71
Друзья микрофона .....	72
Несколько слов о программе QucsStudio до начала работы с ней .....	73
Голос диктора усилили, что дальше? .....	75
Как в программе работать с АМ-сигналами .....	76
Коэффициент нелинейных искажений – что это? .....	78
Спектры разных сигналов .....	78
Возвращаясь к передатчику .....	81
Что «увидела» антенна .....	82
Усиление слабого сигнала приемником .....	84
Подробнее о преобразовании частоты .....	85
Вернемся к макетированию .....	87
Частотно-модулированный сигнал .....	90
Изменение частоты генерации .....	92
Телевизионный сигнал из близкого прошлого .....	94
Частотная модуляция и телевидение .....	95
Волновое сопротивление кабеля .....	97
Другие виды модуляции несущей частоты .....	99
Представление сигнала ступенчатым напряжением .....	100
Устройство преобразования сигнала в цифровую форму .....	102
SSB: SingleSideBand, модуляция с одной боковой полосой .....	103
SDR приемник, или без компьютера никуда .....	104
Кто есть кто на схеме умножителя .....	106
Моделирование кольцевого модулятора .....	108
<b>Часть II. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ .....</b>	<b>111</b>
<b>Глава 4. Резисторы .....</b>	<b>113</b>
Где активно используется вредное явление? .....	113
Еще раз о рабочей точке .....	115
Об утилите цветовой маркировки резисторов .....	116
Классификация резисторов .....	118
Условные обозначения резисторов .....	118
Основные электрические параметры .....	120
Пример параметров постоянного резистора .....	121
Переменные резисторы .....	121
Резисторы для поверхностного монтажа .....	123
Высоковольтные высокоомные и высокочастотные резисторы ....	124
Очень знаменит, но прост и доступен .....	125

<b>Глава 5. Конденсаторы</b>	<b>125</b>
Делитель напряжения из конденсатора и нагрузки	128
Начальные условия	129
Классификация конденсаторов	131
Условные обозначения и маркировка конденсаторов	131
Основные электрические параметры	133
Конденсаторы и температура	134
SMD конденсаторы (для поверхностного монтажа)	135
Начнем с простого разглядывания	137
<b>Глава 6. Катушки индуктивности</b>	<b>137</b>
Индуктивность и радиолюбители	139
Программа моделирования и реальное устройство	140
Классификация катушек индуктивности	142
Маркировка катушек индуктивности	142
Основные электрические параметры катушек индуктивности	144
Диоды – первенцы полупроводниковой эры	145
<b>Глава 7. Полупроводниковые приборы</b>	<b>145</b>
Полупроводник «под напряжением»	146
Диод как детектор радиосигнала	148
Диод как стабилитрон	148
О свойстве диода быть похожим на конденсатор	149
Туннельные диоды	150
Светодиоды	151
Классификация диодов и система обозначений	151
Основные электрические параметры выпрямительных диодов	152
Сравнение параметров двух диодов	153
SMD диоды	153
Транзисторы – самые активные из активных элементов	154
Составные транзисторы	155
Освещаем переходы транзистора	157
Классификация и система обозначений	159
Основные электрические характеристики биполярных транзисторов	160
Основные электрические характеристики полевых транзисторов	161
SMD транзисторы	162
Многослойные полупроводниковые приборы	163
Тиристор – многослойный полупроводниковый прибор с управляющим электродом	164
То, о чем часто забываешь	167
<b>Глава 8. Коммутационные элементы электроники</b>	<b>167</b>
Выключатель и переключатель	168
Гнезда и многое другое, но не для птиц	169
Пьезоизлучатели	173
<b>Глава 9. Излучатели звука</b>	<b>173</b>
Громкоговорители	175
Проблемы со звуком	176

Проблемы с воспроизведением высоких частот .....	177
Электродинамические громкоговорители, классификация и основные параметры .....	178
<b>Глава 10. Датчики .....</b>	<b>180</b>
<b>Глава 11. Микросхемы аналоговые, цифровые, импульсные и.....</b>	<b>181</b>
Усилители высокой частоты .....	181
Некоторые микросхемы усилителей низкой частоты .....	184
Некоторые микросхемы импульсных преобразователей .....	184
Цифровые микросхемы. ....	185
Основные параметры цифровых микросхем .....	185
...и микроконтроллеры .....	186
<b>Часть III. ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ .....</b>	<b>189</b>
<b>Глава 12. Фильтры .....</b>	<b>191</b>
RC-фильтры и LC-фильтры. ....	191
Развязка в цепи питания. ....	193
Колебательный контур или фильтр? .....	195
Т-образный мост. ....	196
Есть проблемы с активными фильтрами .....	198
О полосовом фильтре .....	200
Утилита создания фильтра с заданными параметрами .....	202
Как решаются проблемы при создании фильтров. ....	204
Ламповый усилитель: первенец звукоусиления. ....	207
<b>Глава 13. Усилители .....</b>	<b>207</b>
Смещение на сетке триода. ....	208
Что такое «тяни-толкай» .....	210
Транзисторный усилитель всегда имеет что-то «общее» .....	211
Такие разные схемы усилителей. ....	212
От общего эмиттера к общей базе .....	213
Режимы работы выходного каскада. ....	216
Обратная связь .....	218
Насколько важны фазовые сдвиги .....	219
Усилитель звуковой частоты на транзисторах одной проводимости .	220
Усилитель высокой частоты .....	221
Особенности многокаскадных усилителей .....	225
<b>Глава 14. Многокаскадные усилители. ....</b>	<b>225</b>
Метод Роллета определения устойчивости усилителя .....	227
Усилители мощности звуковой частоты. ....	233
Усилители мощности звуковой частоты в D-режиме. ....	234
Усилители мощности для любительской связи. ....	236
Преобразователи напряжения. ....	238
Автоматическая регулировка усиления. ....	241

<b>Глава 15. Элементы автоматики и управления</b>	<b>241</b>
Автоматическая регулировка температуры	244
Антенна радиолюбителя-коротковолновика	245
Среды разработки для микроконтроллерных программ	249
<b>Глава 16. Работа с микроконтроллерами</b>	<b>249</b>
Отлов жуков в программе	250
Макрос компонента	252
Не забываем сохранять программу	254
Среда разработки Arduino	255
О типах данных	257
Базовое представление о языках программирования	260
Основные типовые языковые конструкции	262
Пример схемы	265
<b>Глава 17. Чтение принципиальных электрических схем</b>	<b>265</b>
Моделирование	268
Макетирование — залог успеха	272
Выпрямитель и другие контрольные точки	275
<b>Часть IV. СОЗДАНИЕ СВОИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ПРИОБРЕТЕННЫХ ЗНАНИЙ</b>	<b>281</b>
<b>Глава 18. Индикатор автомобильного аккумулятора</b>	<b>283</b>
Простая схема со стрелочным измерителем тока	283
Схема с линейным индикатором и расширенными возможностями	286
Моделирование в программе Proteus	289
Какие есть особенности в моделировании схем?	291
Чуть-чуть о макромоделях	293
Использование микроконтроллера	295
Использование другого индикатора в схеме с Arduino	299
Макетирование варианта со стрелочным индикатором	303
<b>Глава 19. Макетирование и выбор варианта исполнения устройства</b>	<b>303</b>
Преобразование напряжения	306
Схема с линейным индикатором	308
Макетирование устройства с микроконтроллером	309
Когда имеет смысл собственная разработка устройства	314
Что нужно знать для создания этого устройства?	314
И что же с переменным током...	317
Вновь о фазовых соотношениях	320
Простейшее охранное устройство	323
<b>Глава 20. Охранное устройство</b>	<b>323</b>
Модернизация простейшего охранного устройства	325
Усложнение конструкции и повод для этого	327

Рассмотрим работу устройства .....	329
Зачем нам в этой схеме микроконтроллер .....	331
Устройство для гаража, расположенного во дворе .....	333
Чем интересны новые версии программ .....	335
Пробуем реализовать свой план .....	338
Первые неудачи и их причины .....	342
Настройка виртуального осциллографа .....	344
Не всегда легкий путь так легок .....	347
Еще один виртуальный прибор Data Recorder .....	349
О пользе справочников .....	352
Программа для приема сигналов .....	356
Пора подводить итоги и делать выводы .....	358
Что нужно знать для создания этого устройства? .....	358
Немного из истории вопроса .....	360
Кодовый замок на реле .....	361
<b>Глава 21. Кодовый замок .....</b>	<b>361</b>
Пояснения к схеме .....	362
Кодовый замок на цифровых микросхемах .....	363
Уточним схему .....	364
Модификация схемы на D-триггерах .....	365
Кодовый замок на микроконтроллере .....	367
Пояснения к проекту .....	367
Начало работы над проектом .....	367
Кнопки — главные действующие лица .....	370
Не только графические компоненты языка .....	374
Модификация кодового замка на микроконтроллере .....	378
Изменение кода .....	378
Некоторые особенности отладки .....	381
Использование записанного кода .....	386
Отладка программы .....	391
Что нужно знать для создания этого устройства? .....	397
Не хотите обновиться? .....	401
<b>Глава 22. STM32F407, Flowcode 8</b>	
<b>и другие друзья любителей электроники .....</b>	<b>401</b>
Испытательные сигналы разной формы .....	402
STM32Cube IDE .....	409
STM32CubeMX и Keil µVision 5 .....	416
STM Studio .....	424
Когда эксперименты интересны и полезны .....	430
Неудача с генератором .....	431
<b>Глава 23. Что полезного в неудачах? .....</b>	<b>431</b>
Замена микроконтроллера .....	432
Проверка работы новой программы .....	433
Возвращение к программе для STM32 .....	435
Отладка программы в Keil µVision 5 .....	438
Опыт с Flowcode 8 и ESP8266 .....	443

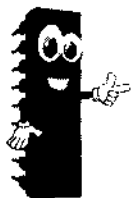


<b>Глава 24. Модуль ESP8266 и другие его собратья .....</b>	<b>443</b>
Что не так с Flowcode и SMT32F407VGT .....	444
Сервер на модуле WeMOS D1 .....	445
Что нужно знать для создания устройств на базе WeMOSD1 .....	447
Fedora 30 и KTechlab .....	449
<b>Глава 25. Простые радио-самodelки,     которые могут быть интересны .....</b>	<b>457</b>
Мини-передатчик на одном реле .....	457
Маломощный АМ-передатчик .....	464
УКВ-ЧМ передатчик .....	467
Крошечный тестовый передатчик для FM .....	470
АМ-радиоприемник на микросхеме TA7642 .....	474
FM-синхронный приемник .....	479
Регенеративный коротковолновый приемник .....	481
FM-УКВ конвертер для радиоприемника на микросхеме K174ПС1... ..	484
<b>Часть V. О НЕКОТОРЫХ БЕСПЛАТНЫХ     ПРОГРАММАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ .....</b>	<b>487</b>
<b>Глава 26. Расчеты вынужденные или полезные .....</b>	<b>489</b>
Зачем считать, если можно и так .....	489
Расчеты, к которым временами приходится прибегать .....	491
Электронная таблица .....	492
Специализированная программа SMath Studio .....	494
Подбор резистора моделированием в программе QucsStudio ... ..	497
<b>Глава 27. Вычисления или моделирование? .....</b>	<b>497</b>
Подбор резистора в программе Multisim .....	498
Моделирование усилительного каскада в программе SimulIDE ..	499
Подбор компонентов колебательного контура в программе SimOne .	499
А в схеме транзистор KT315 .....	503
<b>Глава 28. Программа моделирования SIMetrix .....</b>	<b>503</b>
KT315 или 2N2222A .....	505
Вольтамперная характеристика база-эмиттер транзистора .....	507
Амплитудно-частотная характеристика .....	511
Входная характеристика биполярного транзистора .....	517
<b>Глава 29. Программа моделирования SimOne .....</b>	<b>517</b>
Некоторые проблемы при рисовании схемы .....	519
И все-таки входная характеристика .....	520
Выходная статическая характеристика биполярного транзистора	524
И зачем все это было нужно? .....	527
<b>Использованная литература и Интернет-источники .....</b>	<b>528</b>

# ПРЕДИСЛОВИЕ

## || Современные радиолюбители — кто они?

Что автор, может, и вы с ним будете согласны, понимает под словом РАДИОЭЛЕКТРОНИКА? На заре радиолюбительства доступные компоненты позволяли собрать детекторный приемник, который мог с трудом принять программы мощных радиостанций. Но это не останавливало любителей. Позже появились электронные лампы, и любители не остались в стороне от этого явления. Но радиолампы позволяли собрать не только радиоприемник, в чем любители с удовольствием убедились. На смену ламповым схемам пришли транзисторные схемы и радиоприемников, и усилителей, и схем автоматики... Но любителей всего этого великолепия, оказалось, удобно называть **радиолюбителями**.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Один такой РАДИОЛЮБИТЕЛЬ выступает собеседником в этой книге, задавая важные вопросы и высказывая интересные соображения.*

Сегодня радиоприемник можно собрать на одной микросхеме, добавив несколько компонентов. Перестал ли он быть радиоприемником? Конечно, нет. Но понять, что находится внутри этой микросхемы, согласитесь, трудно. Поэтому и понять работу радиоприемника, не возвращаясь к схемам старых, добрых приемников прямого усиления или супергетеродинов, невозможно.

Переход телевизионного вещания, которое существенно потеснило радиовещание, в цифровой формат означает, что телекомпании отправляют в эфир **цифровые сигналы**. Без понимания, что такое цифровые данные, трудно понять, о чем идет речь.

В своей практике радиолюбители охотно применяют **микросхемы**. Но, если раньше радиолюбитель мог вырезать печатную плату из фольгированного гетинакса или стеклотекстолита, то сегодня, пытаясь соз-

дать печатную плату радиоприемного или передающего устройства на современных рабочих частотах в несколько гигагерц, он должен учесть многое. Например, то, что переходные отверстия имеют индуктивность, а дорожки, перекрещиваясь с другими или проходя рядом, имеют паразитные емкости. Поэтому на практике любители все чаще обращаются к готовым модулям, которые стали доступны по цене. Спасибо современным технологиям изготовления устройств и компонентов.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Думаю, вы поняли, что автор под словом РАДИОЭЛЕКТРОНИКА понимает все многообразие электронных устройств, которые сегодня интересуют любителей. И что автор не намерен «расковыривать» микросхемы, чтобы рассказать об устройстве приборов или бытовой техники. Для этого есть «старые, добрые схемы».*

Особую помощь в освоении этого многообразия, по мнению автора, оказывают современные программы моделирования электрических цепей (схем). Хотя можете с ним не соглашаться. О доступных бесплатных программах (если получится, то о некоторых платных) по ходу дела мы тоже поговорим. Но конечной инстанцией при создании устройств остается, безусловно, **макет прототипа**. О нем тоже не будем забывать, особенно тогда, когда речь идет о конкретных полезных устройствах, которые можно собрать при желании или необходимости.

#### Призываем на помощь QR код

В книге активно используются полезные ссылки, выполненные с помощью QR-кодов. Если у вашего смартфона или планшета есть считыватель этих кодов, то проверьте, хорошо ли он считывает ссылки. Если нет, то попробуйте обратиться к рекомендованному издательством сканеру.



#### СОВЕТ.

*Если ваш сканер смартфона с ОС Андроид совсем не считывает QR-код в книге, то введите в поиск браузера строку: qr сканер teacapps googleplay.*

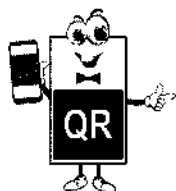
Но в большинстве случаев все работает нормально. Вот, что рекомендует один из авторов издательства Наука и Техника Александр Белов, первопроходец освоения новой технологии в технической литературе [4].

*С помощью QR-кода можно считывать информацию сканером мобильного устройства (смартфона, планшета). Отмечу, что стандартные программы-сканеры, входящие в исходный набор ПО смартфона, не очень удобны в работе по следующим причинам:*

- ♦ *работают недостаточно быстро;*
- ♦ *могут не распознать код при низком качестве изображения;*
- ♦ *обычно автоматически не переходят на изображение в интернете, требуя дополнительного нажатия ссылки на экране.*

*Для работы с QR-кодами рекомендуем установить на ваш смартфон (планшет) СПЕЦИАЛЬНОЕ более КАЧЕСТВЕННОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ — сканер QR-кодов.*

Александр Белов получил хорошие результаты, применив приложение: «Сканер QR- и штрих-кодов (русский)» TeaCapps. Вы тоже можете установить это приложение на смартфон, отсканировав своим мобильным устройством QR-код, размещенный на этой странице. Или вручную найти программу в GooglePlay или AppStore.



*Для перехода по ссылке, указанной в тексте, запустите на смартфоне (планшете) приложение для сканирования QR-кодов и наведите камеру смартфона (планшета) на расположенное справа изображение QR-кода.*



Приложение представляет собой современный сканер QR- и штрих-кодов со всеми необходимыми вам функциями. Приложение поддерживает все распространенные форматы штрих-кодов: DataMatrix, Aztec, UPC, EAN, Code 39 и многие другие, которые могут пригодиться в дальнейшем. Приложение дополнительно позволяет при помощи QR-кода:

- ♦ открывать URL-адреса;
- ♦ подключаться к точкам доступа Wi-Fi;
- ♦ добавлять события в календарь;
- ♦ считывать карты VCards;
- ♦ искать информацию о товарах и многое другое.

## О чем можно прочитать в книге

Любое электронное устройство состоит из компонентов. Это резисторы, конденсаторы, индуктивности, транзисторы и т. д. Они могут быть видны, но могут скрываться внутри микросхемы. Эти компоненты и следует считать **первичными элементами радиоэлектроники**. Но мы начнем рассказ, пропустив разговор про эти компоненты. Если вы не прогуливали уроки физики в школе, то знаете о них. А подробнее узнать о том, какие они бывают, вы можете в справочной литературе. А мы к ним вернемся во **ВТОРОЙ ЧАСТИ**.

Однако несколько слов о поведении «кирпичиков» будет сказано в **ПЕРВОЙ ЧАСТИ** этой книги. Я думаю, что буду применять такие слова, как «активный элемент», «реактивное сопротивление». Зачастую пользуешься тем, к чему привык! Не задумываешься о том, что не только ты не понимаешь, что в программировании означает слово «итератор», а в электронике — «импеданс» или «фазовращатель». Или возьмем схему. Чем похожие схемы отличаются друг от друга? Поговорим об этом и... хотел сказать, забудем, но лучше так: «и запомним».

Если вы думаете, что в **ПЕРВОЙ ЧАСТИ** я обойдусь рассказом о том, что такое ток, напряжение, сопротивление, то ошиблись вы, а не я. И я об этом много раз рассказывал, и до меня об этом рассказывали, в частности, ваш преподаватель физики. А я хочу в этой части, взяв быка за рога, приступить к **лабораторным (практическим) работам**, как в настоящем ВУЗе. Для краткости будем их называть **ЭКСПЕРИМЕНТАМИ (ОПЫТАМИ)**.

**ТРЕТЬЯ ЧАСТЬ** должна убедить вас, что можно доверять программам моделирования, если мы повторим простые опыты на макетной плате после рассмотрения их в программе QucsStudio. Почему простые? Их можно быстро понять, они легко обозримы, они не требуют несколько раз вернуться к началу рассказа. Но ничто не мешает вам усложнить их так, как вам нравится.

Мы используем только знакомые нам резисторы и конденсаторы, соединяя их в разных сочетаниях. Может быть, добавим еще и транзистор, если у вас под рукой есть что-то подходящее. Если под рукой транзисторов нет, подумаем, как быть в этом случае. И это только присказка.

Мы используем **программы моделирования**, чтобы создать простое устройство. Позже мы усложним его. Но сейчас больше о моделировании, чем о сборке. Но собрать можно простейшее охранное устройство. При всей его простоте, это устройство, а вы как думали?

Мы рассмотрим, что за странные квадратики были в схеме кодового замка. Можно, конечно, было обойтись и без них, но вы, скорее всего,



согласитесь, что, добавив пару этих странностей, мы получили больше понимания того, что происходит. Так всегда получается, если есть индикатор. Поэтому преобразуем схему «наблюдения за аккумулятором» с помощью индикаторов.

Мы обязательно познакомимся с микросхемами. Сегодня микросхем так много, что их не перечесать даже в многотомном справочнике, не то, что в одной главе. Но познакомиться можно не со всеми микросхемами, а с некоторыми представителями этого многорядного семейства.

Мы немного поговорим и о программах моделирования, которые уже применяли, и тех, что еще не применяли, но можем применить при разработке собственных устройств. Рассмотрим вопрос расчетов. Нужны ли расчеты или лучше подбирать элементы, используя моделирование?

И поговорим еще о многом, начнем?

ЧАСТЬ

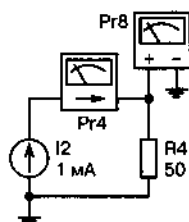
# I

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И БАЗОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА

За все время работы я не помню, чтобы слышал от кого-то: «Проверь падение напряжения на резисторе...» или «попробуй измерить силу тока от источника питания». Обычно говорят: «Проверь напряжение...» или «Попробуй начать с измерения потребляемого тока». Поэтому, рассказывая о чем-то, не всегда замечаешь, как употребляешь что-то, что понятно тебе, но не всегда ясно другим. И поэтому есть смысл вспомнить основные понятия в электротехнике, а, когда придется к месту, вспомнить схемотехнику.

В этой части книги мы начнем знакомство с рядом понятий, которые можно считать основными. Вернее, познакомимся с определениями, с которыми предстоит работать дальше.

Чтобы эти понятия стали «понятнее», в этой части предлагается знакомство с программой, что предназначена для использования в учебных



number	Pr4.I	Pr8.dV
1	0,001	0,05

заведениях. В оригинале все приведенные эксперименты называются «Лабораторная работа №...». Если вы школьник, то почувствуйте себя студентом. Если радиолюбитель в возрасте, вспомните молодость! Я знаком со многими программами, но, признаться, с удовольствием пользовался этой бесплатной программой.

К сожалению, в программе нет моделей транзисторов, поэтому рассказ о транзисторах будет продолжен в других программах.

Любое начало работы с активными элементами схемы, будь то лампа или транзистор, сразу переходит к рассмотрению сигналов. Поэтому небольшой рассказ о сигналах не будет лишним. Хотя сигналом по привычке называют многие изменения напряжения или тока, в основном это понятие относится к передаче информации.

Мы получаем информацию по радио, в телевизионных выпусках новостей, в Интернете. И даже, встречая знакомых по дороге на работу. Но в радиоэлектронике передачу информации через знакомых или с помощью «сарафанного радио» не рассматривают, к сожалению. По этой причине мы рассмотрим привычные для этой области деятельности методы передачи информации.

## **Глава 1. Понятия и термины радиоэлектроники**

## **Глава 2. От простых понятий к первой практике**

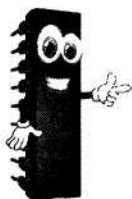
## **Глава 3. Радиосигналы из прошлого и настоящего**

# ПОНЯТИЯ и ТЕРМИНЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ



Чем различаются электроника  
и радиоэлектроника

ЧТО ЕСТЬ ЧТО.



**Электроника** — раздел науки, занимающийся всем, что связано с электричеством, с целью создания инженерами и техниками новых электронных приборов и устройств.

**Радиоэлектроника** — наука, занимающаяся изучением радиоволновых излучений и созданием устройств для передачи информации на расстояние. Это симбиоз радиотехники и электроники.

Термин РАДИОЭЛЕКТРОНИКА появился в середине прошлого века. На ее развитие тогда активно начали работать радиофизика, физика твердого тела, оптика, механика, электротехника, телемеханика, вычислительная техника.

**Область использования радиоэлектроники** непрерывно расширяется. Технические средства радиоэлектроники нашли широкое применение в таких областях как:

- ♦ радиосвязь;
- ♦ радионавигация;
- ♦ автоматика;
- ♦ радиолокация.

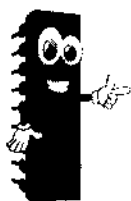
Давайте перейдем к рассмотрению азов радиоэлектроники. Если вы не прогуливали уроки в школе, то многие термины из тех, что будут ниже, вам известны.

## || Электродвижущая сила, она же ЭДС

Есть точное определение ЭДС, его мы используем для батареек или источника питания, которые тем или иным образом создают разность потенциалов, заставляя заряженные частицы перемещаться в проводниках.

На практике измеряют падение напряжения, которое называют напряжением.

**Радиолюбитель:** А что такое падение напряжения?

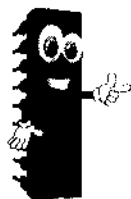


### ОБРАТИМСЯ К ВИКИПЕДИИ.

***Падение напряжения** — постепенное уменьшение напряжения вдоль проводника, по которому течет электрический ток, обусловленное тем, что проводник обладает активным сопротивлением. Под падением напряжения также понимают величину, на которую меняется потенциал при переходе из одной точки цепи в другую.*

## || Электрический ток и его сила

**Электрический ток** — это то самое перемещение электрических зарядов, о котором было сказано выше. Стоит отметить, электроны в проводниках перемещаются и без нашего участия, вернее, без участия электродвижущей силы. Но перемещаются бессистемно, хаотично, бессмысленно. Только электродвижущая сила придает смысл этому перемещению, заставляя заряды двигаться направленно. Что и подразумевает термин **ток**. На практике измеряют **силу тока**.



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

***Сила тока** — это величина отношения количества зарядов, прошедших через поперечное сечение проводника за некоторый промежуток времени, к величине этого промежутка времени.*

На практике чаще всего применяют **единицы измерения**: ампер, миллиампер (в тысячу раз меньше), микроампер (еще в тысячу раз меньше).



## Постоянный или переменный ток течет в цепи батарейки и резистора?

Всем известно, что различают **постоянный** и **переменный** электрический ток.

**Радиоловитель:** *К батарейке подключаем сопротивление. Какой протекает ток?*

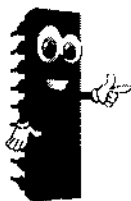
Я отвечаю: «Постоянный». И с формальной точки зрения буду неправ. **Постоянный электрический ток** — ток неизменный по величине и направлению. Но батарейка разряжается, а ток меняется. Так что, с формальной точки зрения можно сказать, что это **переменный электрический ток**.

Конечно, хорошо, если направление тока меняется, там все ясно. Но самый простой пример переменного тока без формализма — это батарейка с подключенным сопротивлением и выключателем, который то включается, то выключается.

## Как переменному току стать сигналом

**Радиоловитель:** *Есть переменный ток, а что такое сигнал?*

Об этом мы поговорим позже, но о сигналах мы будем часто говорить на протяжении всего рассказа. Поэтому посмотрим, что пишется об этом в Википедии.



### ОБРАТИМСЯ К ВИКИПЕДИИ.

**Сигнал** — материальное воплощение сообщения для использования при передаче, переработке и хранении информации.

**Сигнал** — код (символ, знак), созданный и переданный в пространство (по каналу связи) одной системой, либо возникший в процессе взаимодействия нескольких систем. Смысл и значение сигнала проявляются после регистрации и интерпретации в принимающей системе.

**Сигнал** (в теории информации и связи) — носитель информации, используемый для передачи сообщений в системе связи.

Вот такой он многообразный, сигнал.

## || Электрическая цепь: звенья, участки, контуры

Очень часто простые (и не очень) схемы мы будем называть **электрической цепью**. Последовательно соединенные элементы образуют цепь, и в простейшем случае, когда она похожа на цепочку для медальона, то есть, замкнута, мы будем называть такую электрическую цепь **контуром**. Но к цепи можно подключать звенья, соединяя разные участки цепи, тогда контуров будет много.

Более того, различают **линейные и нелинейные электрические цепи**.



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

***Линейные электрические цепи** — те, в которых параметры не зависят от величины или направления тока или напряжения.*

***Нелинейные электрические цепи** — те, в которых встречаются нелинейные элементы, у которых параметры зависят от характера тока.*

## || Принципиальные схемы

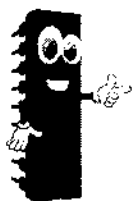
Чаще всего мы будем в этой книге встречать **электрические** или **принципиальные схемы**. Они могут быть сложными, а могут быть простыми, оставаясь **графическим изображением** реального устройства, радиоэлектронного или электронного, или просто электрического.

Когда-то к любому радиоприемнику или телевизору вы получали его электрическую схему. Где можно было рассматривать элементы, даже в том случае, когда вы не понимали ни их назначения, ни их устройства. Как их различать?

## || Пассивные элементы любой схемы: что в журнале, что в Интернете

**Пассивные элементы:** резисторы, конденсаторы, индуктивности... названы так, скорее всего, по той причине, что все они обладают сопротивлением, приводящим к выделению **тепла**. То есть, в электронике (равно как в радиоэлектронике), где от каждого электрического заряда

хотелось бы получить пользу, они пытаются нагреть и без того перегревшую, если верить сегодняшним ученым, атмосферу.



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

**Сопротивление** — это свойство элементов сопротивляться прохождению электрического тока.

Для проводника сопротивление зависит от его удельного сопротивления, длины и сечения.



### СПРАВКА.

Сопротивление измеряется в омах. Ом — основная единица измерения сопротивления, но в реальных схемах часто применяют в тысячу раз большую единицу, килоом (кОм), и еще в тысячу раз большую, мегаом (МОм).

Иногда удобно использовать величину, обратную сопротивлению, которую называют **проводимость**. Основная единица измерения — **сименс (См)**.



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

**Индуктивность** — свойство элемента схемы, который способен накапливать энергию магнитного поля.

Самый простой пример индуктивности — катушка индуктивности, проводник, который намотали на каркас (или обошлись даже без каркаса).



### СПРАВКА.

Основная единица измерения индуктивности генри (Гн). Чаще используют в тысячу раз меньшую единицу, миллигенри, и еще в тысячу раз меньшую единицу, микрогенри.

Если проводник, то ясно, катушка индуктивности обладает активным сопротивлением. Иными словами, расходует энергию батареек без толку. Но такова жизнь. А жизнь индуктивности больше опреде-

ляется другим ее сопротивлением, которое называют не активным, а **реактивным**.

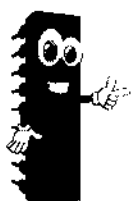
**Реактивное сопротивление** индуктивности определяется так:

$$X_L = 2\pi FL$$

где  $F$  — частота переменного тока в герцах, а  $L$  — индуктивность катушки в генри.

**Радиолюбитель:** Почему реактивное?

Почему реактивное? Это сопротивление обязано реакции катушки индуктивности на изменение электрического тока. Аналогичным реактивным сопротивлением обладает еще один пассивный элемент.



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

**Конденсатор** — элемент электрической цепи, способный накапливать заряд.



### СПРАВКА.

Единица измерения емкости конденсатора — фарада (Ф). Но встретите, почти всегда, в миллион раз меньшую единицу микрофараду (мкФ) или в еще тысячу раз меньшую, нанофараду (нФ), или еще в тысячу раз меньшую, пикофараду (пФ).

Реактивное сопротивление конденсатора определяется так:

$$X_C = 1/2\pi FC$$

где  $F$  — частота в герцах,  $C$  — емкость в фарадах.

**Радиолюбитель:** Обладает ли конденсатор активным сопротивлением?

Для изготовления конденсатора используют **диэлектрик**, который разделяет две пластины конденсатора. Диэлектрик почти не проводит электрический ток. Но почти совсем не означает, что он совсем не проводит ток. Добавьте к этому, что пластины реального конденсатора — это две ленты тонкой фольги, разделенных тонкой лентой диэлектрика, которые сматывают в рулон. «Сматывают» — чем не катушка индуктивности? Правда можно использовать метод бифилярной намотки, но все ли проблемы это решает?

## Совместные возможности пассивных элементов

Несмотря на свою пассивность, пассивные элементы активно участвуют в жизни любой электрической схемы. Откройте любую, чтобы убедиться в этом (рис. 1.1).

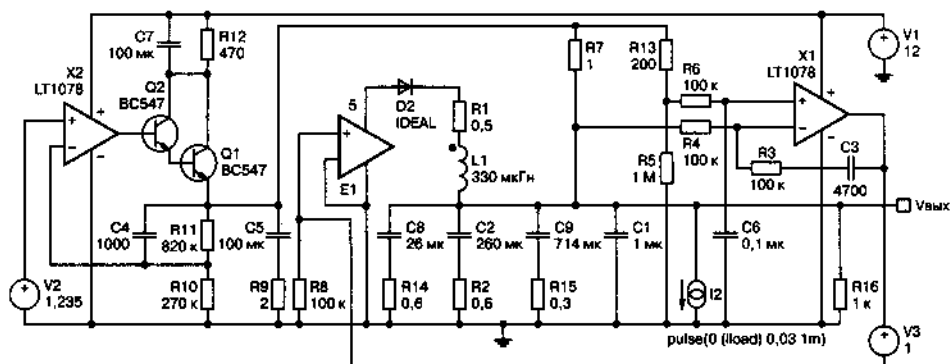


Рис. 1.1. Схема электрическая принципиальная

**Радиоловитель:** И зачем нужны эти растратчики энергии батареек?

А посмотрите на это видео.



Мне показалось это видео интересным с точки зрения возбуждения собственных колебаний в параллельном LC контуре. Возможно, и вас этот наглядный пример заинтересует.



Это один из самых ярких примеров пользы конденсатора и индуктивности — их параллельное соединение. И куда бы двигалась радиоэлектроника от изобретения А. С. Поповым радио без этих пассивных элементов?

Если обратить внимание на формулы реактивного сопротивления конденсатора и индуктивности, то можно задаться вопросом: что будет при параллельном их соединении, когда их реактивные сопротивления равны? Посмотрим на бумаге:

$$X_C = X_L$$

или

$$1/2\pi f C = 2\pi f L$$



Выделим частоту:

$$F^2 = 1/4\pi^2 LC$$

То есть, есть особенная частота, где реактивные сопротивления параллельно включенных конденсатора и индуктивности равны.



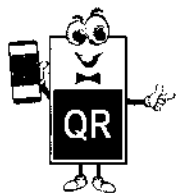
### ЭТО ВАЖНО.

*Такое включение называют параллельным колебательным или резонансным контуром. Частота называется собственной частотой резонанса токов в контуре.*

При этом сопротивление контура на резонансной частоте максимально, что позволяет хорошо выделить данную частоту из всех других, которые могут быть рядом. Так, на заре радиовещания (и не только) стали выделять одну вещательную радиостанцию из множества конкурирующих за внимание радиослушателя.

Если же включить конденсатор и индуктивность последовательно, то сопротивление на частоте резонанса будет минимально. Этот эффект тоже используют в схемотехнике.

Индуктивности и конденсаторы активно используют при создании разного рода **фильтров**. Не только на входе радиоприемника, но и в других схемах электронных устройств. Простейший фильтр — это конденсатор, подключенный параллельно сопротивлению в цепи эмиттера биполярного транзистора (или в цепи катода радиолампы). Но об этом мы поговорим позже. Как и о том, что сегодня индуктивности часто не мотают проводом на каркасе, а конденсаторы лентами — сегодня активно используются частоты, требующие очень небольших значений емкости и индуктивности.



*В этой статье вы увидите, как сегодня можно создать катушку индуктивности на печатной плате при изготовлении электронного устройства. И «печатают» не только катушки.*



В качестве емкости при таком конструктивном решении может выступать полоска фольги с обратной стороны катушки. Согласитесь, так гораздо удобнее.

**Радиолюбитель:** *А как быть с сопротивлением провода катушки в колебательном контуре?*

К этому мы вернемся позже.

## Источники питания электрической цепи

К активным элементам схемы, в первую очередь, следует отнести **источники ЭДС**. Как правило, их называют **источниками питающего напряжения**. Можно разделить их на две категории: источник напряжения и источник тока.

**Радиолюбитель:** А в чем разница?



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

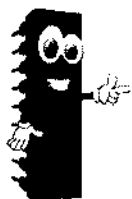
**Источник напряжения** — это источник ЭДС, напряжение которого не зависит от потребляемого тока.

**Источник тока** — это источник ЭДС, ток которого не зависит от сопротивления нагрузки.

В первую очередь, речь идет об идеальных источниках, которые часто используются при расчетах и моделировании.

Посмотрим на вопрос относительно **сопротивления нагрузки** — любая электрическая цепь потребляет ток от источника. Вся схема потребляет ток от батарейки или блока питания. Вход каскада усиления потребляет ток от выхода предыдущего каскада, для которого становится сопротивлением нагрузки.

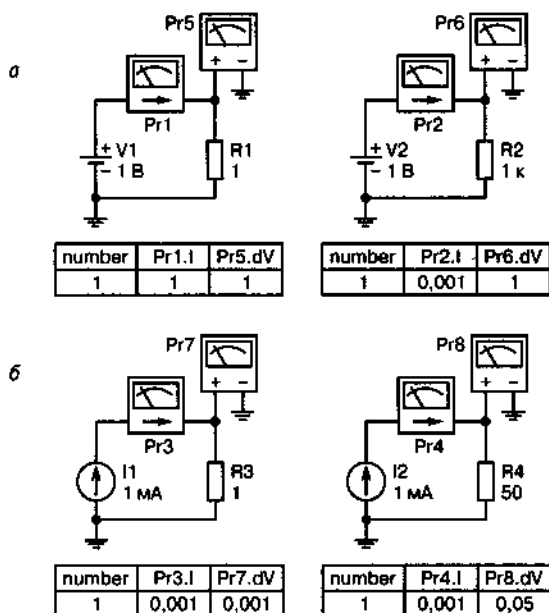
**Пример** реального источника напряжения — это батарейка или аккумулятор. Современные источники питания хорошо приближаются к идеальным источникам напряжения. А примером источника тока пусть послужит метод измерения сопротивления мультиметром. Если бы источник тока был идеальным, не понадобилось бы переключать диапазоны измерения. Но в пределах каждого диапазона источник обеспечивает хорошую стабильность тока, измеряя падение напряжения на разных резисторах, мы получаем на индикаторе значение их сопротивления достаточно точно.



### ПРИЗОВЕМ НА ПОМОЩЬ ПК.

Соберем простые схемы, чтобы лучше понять разницу (рис. 1.2).

Ток, вы знаете, измеряют **амперметром**, а напряжение — **вольтметром**. В таблицах ток — в амперах, а напряжение — в вольтах. Легко



**Рис. 1.2.** Сравнение источника напряжения и источника тока в программе QucsStudio:

*а – идеальный источник напряжения, Pr1 и Pr2 – амперметры, Pr5 и Pr6 – вольтметры;  
б – идеальный источник тока, Pr3 и Pr4 – амперметры, Pr7 и Pr8 – вольтметры*

сравнить поведение источников при разных величинах сопротивления нагрузки. А поможет в этом, напомним, **закон Ома**.

На последней схеме (**рис. 1.2, б**): ток 1 мА, сопротивление 50 Ом. Ожидаемое напряжение на резисторе R4:

$$U = I \times R$$

$$U = 0,001 \times 50 = 0,05 \text{ (В)}$$

И наши ожидания не обмануты. А, предположим, что мы не знаем сопротивление в первой схеме. Такое же можно предположить?

Георг Ом говорит так:

$$R = U/I$$

то есть: разделите напряжение на ток, получите сопротивление. Проверим:

$$1(\text{В})/1(\text{А}) = 1 \text{ Ом}$$

## Полезные правила Кирхгофа

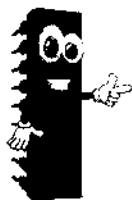
В электрической цепи элементы могут соединяться последовательно. Если два сопротивления соединить последовательно, то на каждом из них будет падать напряжение. Вспомним правила Кирхгофа.



## ВТОРОЕ ПРАВИЛО КИРХГОФА.

*Алгебраическая сумма падений напряжений равно алгебраической сумме ЭДС.*

В реальных схемах очень часто от шины питания (провода, к которому подключаются все потребители электроэнергии в схеме) ответвляется несколько потребителей.



## ПЕРВОЕ ПРАВИЛО КИРХГОФА.

*Сумма значений токов, входящих в узел, равна сумме значений токов, выходящих из узла.*

Закон Ома и правила Кирхгофа помогают разобраться не только в схеме, но и при измерениях, которые вы делаете, работая с конкретным устройством.

**Радиолобитель:** *А причем здесь измерения?*

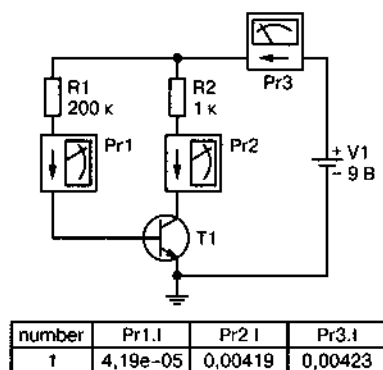
Входное сопротивление мультиметра при измерении напряжения не бесконечно. У ряда мультиметров оно равно 1 МОм. При измерении падения напряжения на резисторе с большим сопротивлением следует учитывать, что вы изменили сопротивление этого резистора, добавив параллельно сопротивление мультиметра. И сопротивление мультиметра при измерении токов тоже не равно нулю. И об этом тоже следует помнить.

## Транзистор — активный участник цепи

Активными участниками процессов, протекающих в устройствах электроники и радиозлектроники, являются **электронные лампы** (которые сейчас применяются редко) и **транзисторы**. Они могут, что отличает их от пассивных элементов, усилить ток или напряжение.

Рассмотрим токи: на входе ток базы биполярного транзистора, а на выходе — ток коллектора (рис. 1.3).

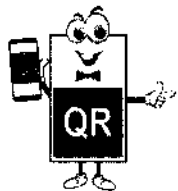
У биполярного транзистора есть **свойство** — между его током базы и током коллектора существует связь, определяемая постоянным коэффициентом, который называют **статическим коэффициентом усиления**.



**Рис. 1.3.** Биполярный транзистор в цепи постоянного тока

**рис. 1.3.** Ток коллектора 4,19 мА, ток базы — 0,0419 мА. Разделим первое значение на второе, получим  $V_{ст} = 100$ . Попутно вы можете проверить правило Кирхгофа, касающееся токов, если измерите ток, потребляемой схемой. Он должен быть около 4,23 мА.

**Биполярные транзисторы** бывают двух структур, которые называют **р-п-р** и **п-р-п** (последний — на **рис. 1.3**). Структура определяется тем, какие полупроводники используются для формирования эмиттера, базы и коллектора транзистора.



Видео рассказ о биполярных транзисторах, надеюсь, пополнит ваши знания о транзисторах в части их структуры и материалов, из которых изготавливают полупроводники.



## Чем полевые транзисторы похожи на радиолампы

Полевые транзисторы больше похожи на радиолампы.

**Радиолюбитель:** И чем же они похожи?

Вот схема двух усилителей (**рис. 1.4**).

В усилителе на радиолампе за счет **подогрева катода** из него вылетают электроны, которые электрическое поле между анодом и катодом заставляет двигаться к аноду. При этом на резисторе  $R_k$  образуется падение напряжения так, что между катодом и сеткой приложено отрицательное напряжение через резистор  $R_{см}$ . Оно уменьшает анодный ток.

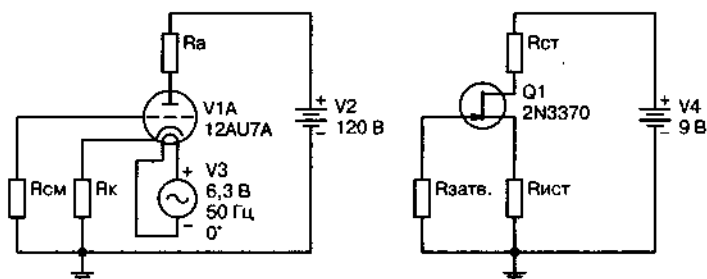
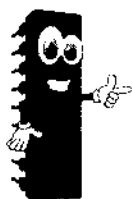


Рис. 1.4. Усилитель на электронной лампе и полевым транзисторе



### ЗАКОНОМЕРНОСТЬ.

*Если внешнее напряжение на сетке уменьшает это напряжение смещения, то анодный ток увеличивается, иначе уменьшается. Меняя напряжение на сетке, мы управляем током анода.*

Но падение напряжения на резисторе в цепи анода  $R_a$  гораздо больше внешнего напряжения, приложенного к сетке. Так происходит усиление. При этом в основном режиме работы лампового триода ток сетки отсутствует, что отличает работу радиолампы от работы биполярного транзистора.

Полевой (или канальный) транзистор работает подобным же образом. Напряжение на затворе через резистор в цепи затвора  $R_{затв.}$  управляет током стока, а напряжение смещения, запирающее напряжение на затворе, образуется на резисторе истока  $R_{ист.}$ . Ток через затвор не протекает, как не протекает сеточный ток. Пока в этих процессах изменения связаны линейно, коэффициенты усиления постоянны, преобразования напряжений линейные, закон изменения входного напряжения повторяется выходным напряжением, которое больше входного.

Чтобы преобразования были линейными, но мы получили максимальное усиление, для каждого каскада усиления производят **расчет рабочей точки** на постоянном токе. Посмотрим, как закон Ома и правила Кирхгофа помогают рассчитать рабочую точку биполярного транзистора (рис. 1.3).

При расчете задаются:

- либо величиной сопротивления в цепи коллектора;
- либо током коллектора.

Выберем сопротивление в цепи коллектора равным 1 кОм. Для симметричных сигналов на входе напряжение на коллекторе выбирают равным половине напряжения питания, в нашем (рис. 1.3) случае 4,5 В.

По закону Ома ток через резистор R2 будет равен 4,5 мА (разделим падение напряжения на R2 на величину его сопротивления).

Зная коэффициент усиления по току, определим ток базы (разделим ток коллектора на Вст), который будет равен 29 мкА. Правило Кирхгофа показывает, что падение напряжения на резисторе R1 в сумме с падением напряжения между базой и эмиттером будет равно напряжению питания, то есть, 9 В. Напряжение между базой и эмиттером, как правило, находится в пределах 0,6...0,7 В. Тогда падение напряжения на резисторе R1 будет равно:

$$U_{R1} = U_{пит} - U_{б-э}$$

$$U_{R1} = 9 - 0,7 = 8,3 \text{ (В)}$$

В итоге мы знаем ток через резистор R1 и падение напряжения на нем, что дает нам величину сопротивления 286 кОм.

## Соберем схему на макетной плате

Два физика Ом и Кирхгоф не знали о существовании биполярных транзисторов, но они помогли нам исправить ошибочный выбор резистора в цепи базы. Соберем схему на макетной плате, подадим на вход транзистора синусоидальный сигнал от генератора через конденсатор. Проверим первый вариант, когда сопротивление в цепи базы 200 кОм (рис. 1.5). Осциллограф подключен к коллектору транзистора.

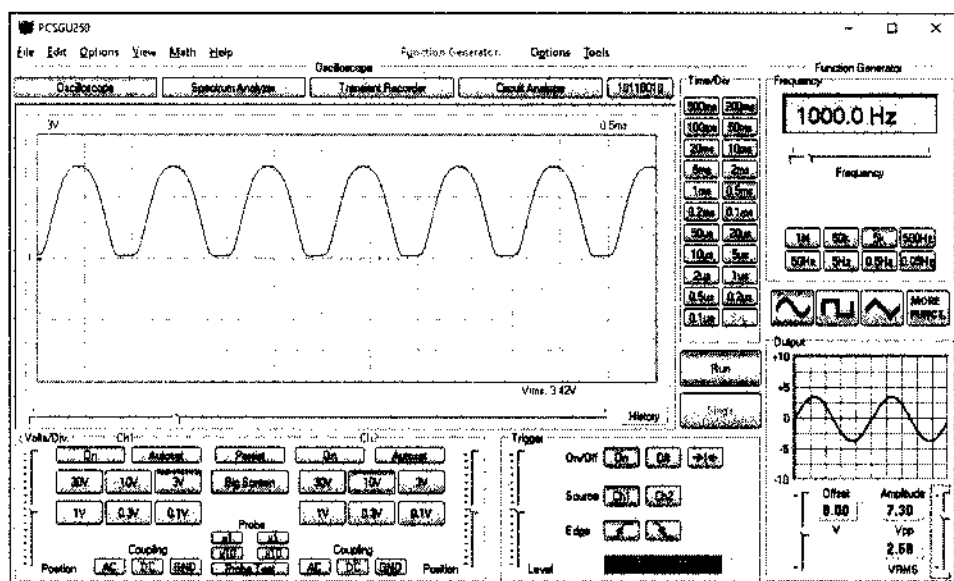


Рис. 1.5. Осциллограмма напряжения на выходе усилителя

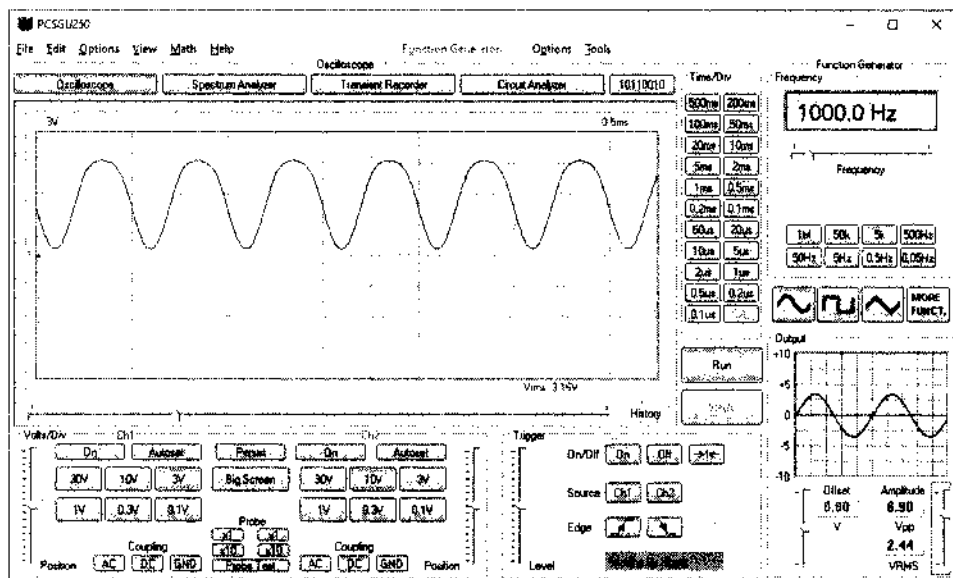
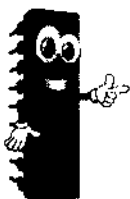


Рис. 1.6. Осциллограмма сигнала после замены резистора в цепи базы

На осциллограмме видно, что синусоида срезается снизу. Заменяем сопротивление R1 (рис. 1.3) в цепи базы, выбрав сопротивление 286 кОм. Его приходится собрать из двух последовательно включенных сопротивлений. Стало ли лучше (рис. 1.6)?

Если в первом случае сигнал явно искажен в нижней части синусоиды, то во втором случае преобразование получилось лучше.



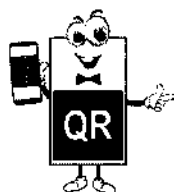
#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Мы еще не раз вернемся к транзисторам и усилителям, а сейчас рассмотрим, чем радиоэлектроника отличается от электроники.*

### Модуляции в радиоэлектронике: амплитудная и частотная

Исторически сложилось так, что радиоэлектроника, большей частью, занимается вопросами передачи информации на расстоянии. Этим она и отличается, в первую очередь, от электроники.

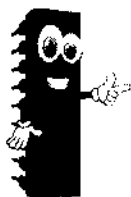




*Радиоволны окружают нас сегодня и дома, и на работе, что, впрочем, началось давно. Но сегодня мы используем радиоволны гораздо интенсивнее. Вот рассказ о них.*



Переменный электрический ток, протекая по проводам, создает **магнитное поле** вокруг проводника. Но при низкой частоте изменения переменного тока это поле недалеко отстоит от проводника. В этом вы могли убедиться сами или видеть, как это делают другие, когда пытаются найти силовые провода скрытой проводки в стене. Прибор нужно поднести к самой поверхности. Причина в том, что частота переменного напряжения в сети — 50 Гц.

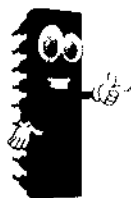


### ЭТО ВАЖНО.

*Энергия электронов, которые и образуют ток в проводниках, существенно возрастает с ростом частоты.*

**Радиолобитель:** *Раньше радиоприемники работали на частотах от полутора сотен килогерц до нескольких мегагерц. Но килогерцы килогерцами, а причем здесь информация? Диктор в студии радиостанции не говорит на частоте в сотни килогерц.*

Правильно, поэтому переменное напряжение с частотой в сотни килогерц используется как **лошадка, на которой едет всадник**. Голос диктора, как всадник, вскакивает на несущую частоту в несколько сотен килогерц, чтобы рассказать нам, нужно ли сегодня брать зонтик, или дождя не будет.



### СПРАВКА.

*Процесс добавления информации к высокочастотному переменному напряжению называют **модуляцией**.*

Первый способ модуляции называли **амплитудной модуляцией**. Переменное синусоидальное напряжение можно записать формулой:

$$u(t) = A \sin(2\pi Ft + \phi_0)$$

где  $A$  — амплитуда напряжения,  $F$  — частота,  $\phi_0$  — начальная фаза.



ном случае испытательным сигналом 1 кГц. Напомню, что речевой диапазон частот 300—3000 Гц.

Позже стали применять другой способ модуляции, воздействуя информационным сигналом на несущую частоту, которая стала гораздо выше.

Но для демонстрации мы используем частоты, удобные для нас (рис. 1.8).

В современной практике используют и другие виды модуляции, но еще и другие методы передачи информации. К этому мы еще вернемся.

## Малосигнальные параметры

Читая описание схемы, которая вам приглянулась, вы можете встретить такой параметр как  $h_{21}$ . Давайте, разберемся с этим и похожими параметрами.

Для транзистора, работающего в линейной области, можно предложить схему замещения (рис. 1.9).

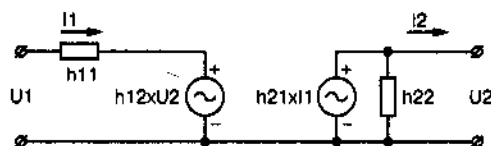
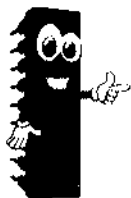


Рис. 1.9. Схема замещения для транзистора

**Радиолюбитель:** Что такое схема замещения?



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

**Эквивалентная схема** (схема замещения, эквивалентная схема замещения) **электрической цепи** — графическое изображение схемы, в которой все реальные элементы заменены эквивалентами.

**Эквивалентом реального элемента** схемы называют электрическую цепь из идеализированных компонентов цепи, к которым приложены токи и напряжения реального элемента.

Эти токи и напряжения можно связать уравнениями, определив математическую модель. Можно выбрать разные варианты уравнений,

что дает разные малосигнальные параметры. На рис. 1.9 параметры отвечают уравнениям:

$$U_1 = h_{11} \times I_1 + h_{12} \times U_2$$

$$I_2 = h_{21} \times I_1 + h_{22} \times U_2$$



#### СПРАВКА.

Таким образом, **h-параметры** являются коэффициентами, которые можно представить в виде **матрицы линейного преобразования**.

Между этими параметрами и собственными параметрами транзистора есть связь. В качестве собственных параметров рассматриваются:

- ♦ коэффициент усиления по току  $\alpha$ ;
- ♦ сопротивления переменному току  $r_э$  (сопротивление эмиттера и эмиттерного перехода),  $r_к$  (сопротивление коллектора и коллекторного перехода) и  $r_б$  (сопротивление области базы).

Есть различия для разных схем включения транзистора, но для включения с общим эмиттером можно записать так:

$$h_{11} = r_б + r_э/(1-\alpha)$$

$$h_{12} = r_э/r_к(1-\alpha)$$

$$h_{21} = \beta = \alpha/(1-\alpha)$$

$$h_{22} = 1/r_к(1-\alpha)$$

Входное сопротивление эквивалентной схемы определяется при коротком замыкании на выходе, то есть, когда  $U_2 = 0$ :

$$h_{11} = U_1/I_1$$

В транзисторе, благодаря его структуре, присутствует обратная связь, поэтому определяется коэффициент обратной связи по напряжению, когда входной ток равен нулю, то есть,  $I_1 = 0$ , а напряжение на входе обязано своим существованием выходному напряжению:

$$h_{12} = U_1/U_2$$

Коэффициент передачи тока определяется при нулевом сопротивлении нагрузки, то есть, когда  $U_2 = 0$ :

$$h_{21} = I_2/I_1$$

Выходная проводимость определяется по действию выходного напряжения при  $I_1 = 0$ :

$$h_{22} = I_2/U_2$$

Мы начали рассмотрение с вопроса о том, что такое  $h_{21}$ , а перешли к рассмотрению h-параметров. Но искомый коэффициент близок по своему смыслу к статическому коэффициенту усиления по току, который тоже связывает ток коллектора с током базы биполярного транзистора.

## || Некоторое обобщение

**Уравнения схемы замещения** можно составить несколькими способами. Каждому из них отвечают разные малосигнальные параметры. В радиотехнике большее применение находят  $S$ -параметры, описывающие СВЧ радиоустройства, где существует падающая и отраженная волна. Для этого вида параметров схемы замещения четырехполюсника коэффициенты уравнения (матрицы) можно описать так:

- ♦  $S_{11}$  — коэффициент отражения от входа;
- ♦  $S_{12}$  — коэффициент обратной передачи;
- ♦  $S_{21}$  — коэффициент прямой передачи;
- ♦  $S_{22}$  — коэффициент отражения от выхода.

Для проверки расчетов и моделирования с  $S$ -параметрами удобно использовать программу QucsStudio (Qucs), которая успешно моделирует СВЧ устройства.

При расчетах усилителей на электронных лампах (а сегодня с полевыми транзисторами) часто использовали  **$Y$ -параметры**.



Вы можете больше узнать о четырехполюсниках и малосигнальных параметрах из статьи в Википедии. Можно открыть ее сейчас или вернуться к ней позже, как удобнее.



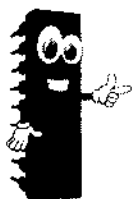
# ОТ ПРОСТЫХ ПОНЯТИЙ К ПЕРВОЙ ПРАКТИКЕ

## О программе «Начала электроники»

**Радиоловитель:** *Покупая книгу о радиоэлектронике, многие надеются найти в ней чудодейственную схему, которая решит все вопросы, достаточно ее собрать. Кто-то надеется найти ответ на причины неудач, постигших его при сборке очередного устройства...*

Но техническую литературу полезно читать с карандашом в руках. Правда, сегодня карандаш и лист бумаги удачно заменяет компьютер.

Многие простые опыты не привлекают внимания читателей, хотя их легко повторить на макетной плате. С другой стороны, не у каждого радиоловителя или в радиокружке, тем более студента, есть под рукой все детали и приборы, что позволят провести ряд простых опытов. Можно их описать словами. Но мы поступим иначе. И я считаю, что это будет интересно не только начинающим, но и опытным любителям и студентам.



### ПРИЗОВЕМ НА ПОМОЩЬ ПК.

*Есть такая отечественная программа, которая называется «Начала электроники».*

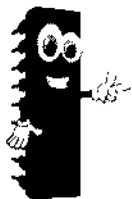
Загрузить программу можно по указанному рядом QR коду.



*Здесь на сайте разработчиков программы вы можете не только скачать программу «Начала электроники», но и познакомиться с теми, кто создавал эту интересную программу.*

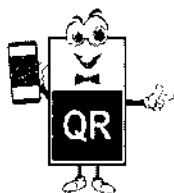


Программу я случайно обнаружил в Интернете. Программа была написана сотрудниками Казахского Государственного Национального Университета имени аль-Фараби под руководством доцента кафедры теплофизики и технической физики Кашкарова Владимира Васильевича. Первая версия конструктора «Начала Электроники» увидела свет в 2000 году. Это было давно, но для многих программа не утратила актуальности.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*О ней я упоминал в книге «Компьютер в лаборатории радиолюбителя», а сейчас хочу рассказать подробнее.*



*Если вы не скачали программу, не установили ее на компьютер, но хотели бы посмотреть, что она представляет собой, то можете сейчас посмотреть видео-рассказ о ней.*



К сожалению, в программе нет транзисторов или операционных усилителей, но их можно найти в других программах. Зато в этой программе есть много интересного.

## Начинаем знакомство с программой

Установка программы происходит обычным образом, как мы устанавливаем все программы, то есть, нажимаем кнопку «Далее», не вчитываясь в пояснения, иногда ищем, где поставить галочку, что мы согласны с соглашением о лицензии, если без этого кнопка «Далее» не оживает.

Однажды, бывает и такое, я решил ознакомиться с соглашением, предлагаемым Microsoft. Очень увлекательное чтение, кому делать нечего — написано юристами для юристов, написано из расчета того, что пользователь до конца действия лицензии будет изучать этот документ в надежде что-то понять. Словом...

В данном случае после установки программы, ее, как и любую другую, можно запустить и начать что-то делать, но лучше обратиться к руководству, нажав кнопку на инструментальной панели (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Кнопка вызова браузера для знакомства с руководством

И есть еще одна кнопка, которую я хочу использовать. Называется она «Лабораторные работы». Не буду переписывать эти работы, но хочу повторить их, используя программу и макетную плату.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Для краткости по ходу описания, и чтобы уйти от учебного термина, будем эти работы называть ЭКСПЕРИМЕНТАМИ (ОПЫТАМИ).*

Бесспорно, далее должен следовать заголовок лабораторной работы (эксперимента) номер один. Но кто же утерпит, кто же не попробует что-то сделать в программе. Я не исключение.

При первом взгляде немного смущает фон программы, на котором не сразу разглядишь рабочую панель (рис. 2.2).

Собственно, я не столько из-за рабочей панели, сколько ради кнопки сворачивания программы привел этот рисунок. Программа у меня на компьютере с Windows 10 закрывает весь экран, включая инструментальную панель ОС.

**Радиолюбитель:** *Поэтому возможность свернуть программу совсем не лишняя!*

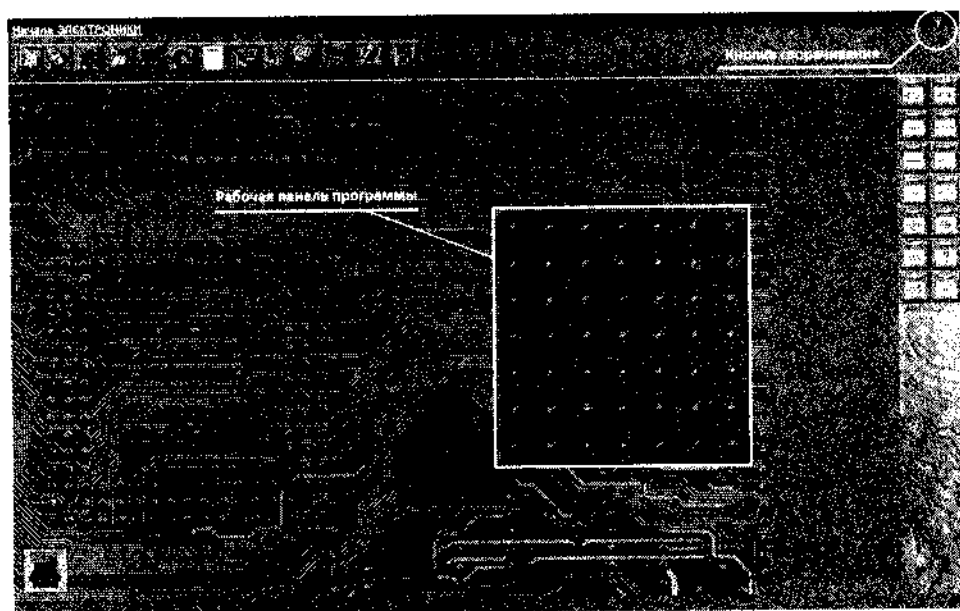


Рис. 2.2. Рабочая панель программы



Перетаскивая детали с правой инструментальной панели, обратите внимание на то, что положение детали зависит от близости к монтажным точкам:

- ♦ две горизонтальные точки заставляют деталь принимать горизонтальное положение;
- ♦ две вертикальные точки заставляют деталь перестроиться, чтобы занять вертикальное положение.

К сожалению, это происходит тогда, когда курсор превращается в эту деталь, а я не знаю, как сделать снимок экрана вместе с курсором, и можно ли это сделать в Windows. Поэтому изображу, как смогу (рис. 2.3).

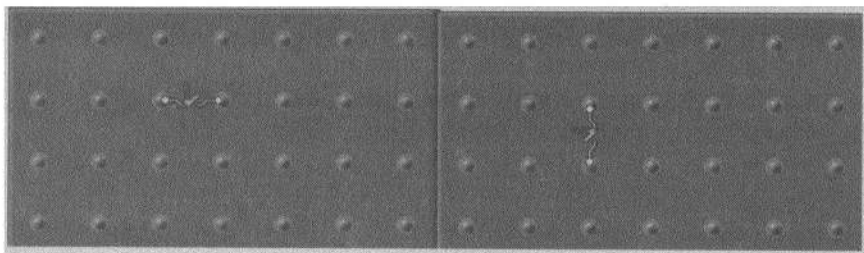


Рис. 2.3. Изменение положения детали при установке на плату

Если вам потребуется изменить положение, можно просто перенести деталь, она повернется и займет новые монтажные контакты. Однако некоторые детали позволяют их перевернуть, если щелкнуть по детали правой клавишей мышки (рис. 2.4).

Полагаю, что это предназначено для «полярных» элементов схемы. А для, например, выключателя появится команда «Включить».

Есть еще одна кнопка, о которой следует сказать. Это кнопка отображения параметров деталей, без которой нельзя, наверное, изменить величину сопротивления или параметры других компонентов (рис. 2.5).

И, пока не забыл, при наведении курсора на кнопки появляется подсказка об их назначении. На панели свойств (рис. 2.6) можно изменить все параметры, которые там указаны, а щелчок левой клавиши мышки, когда курсор указывает на другую деталь, переключит панель на параметры этой детали.

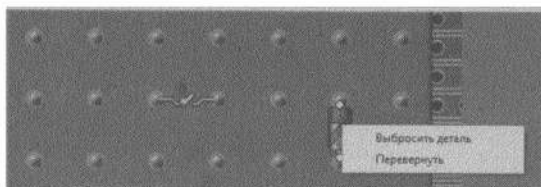


Рис. 2.4. Поворот детали



Рис. 2.5. Кнопка отображения параметров деталей

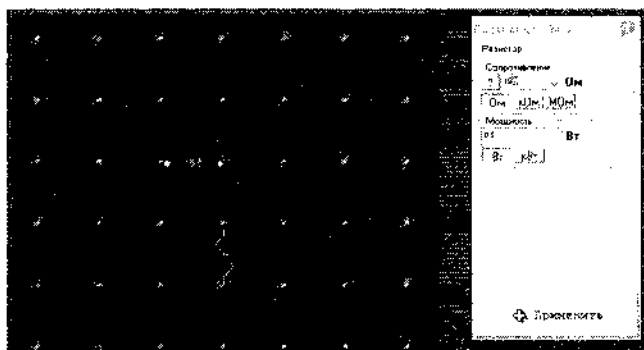


Рис. 2.6. Включенная панель свойств компонента

По мере появления необходимости рассказа о других деталях работы с программой, эти детали будут показаны и описаны.

## Сопротивление проводников

Суть этой работы сводится к изучению зависимости сопротивления реальных проводников от их геометрических параметров и удельного сопротивления материала.

Порядок работы: предлагается собрать на монтажной панели предложенную схему и перейти к определению ряда параметров, описанных формулами, которые приводятся в оригинале эксперимента.

Итак. Нам нужен проводник, обладающий сопротивлением (хотя они все им обладают), имеющим хорошо измеряемое значение. Для этого перемещаем курсор мышки на инструментальную панель (рис. 2.7). Курсор меняет свой вид, превращаясь в пинцет.

Выбираем иконку с резистором, как его изображают на схемах в ряде стран.

Нажимаем левую клавишу мышки, поверх иконки появляется изображение элемента, который будет установлен на монтажную плату.

Не отпуская клавиши мышки, перемещаем курсор (теперь он имеет вид детали) в нужное место, располагая его так, как нам удобнее, где и отпускаем клавишу мышки.

Не забудем на основной инструментальной панели включить кнопку отображения параметров элементов.

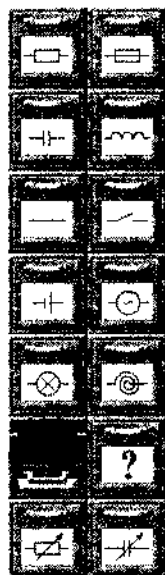


Рис. 2.7. Выбор деталей на панели компонентов

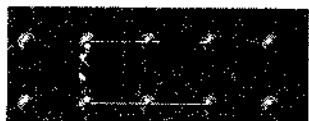


Рис. 2.8. Начало сборки схемы опыта



Рис. 2.9. Кнопка инструментальной панели для добавления мультиметров

Аналогично выбираем батарейку, пиктограмма которой эту батарейку и изображает. Батарейку переворачиваем, используя правую клавишу мышки, как об этом написано выше.

И добавляем простые перемычки, чтобы завершить картину.

Пока наш эксперимент выглядит следующим образом (рис. 2.8).

Далее в тексте описания эксперимента написано, что следует провести измерения напряжения и тока. Но для этого нужны измерительные приборы. Вот, где их можно найти (рис. 2.9).

Мультиметров потребуется два, то есть, кнопку следует нажать дважды. Один мультиметр будет измерять напряжение, второй нужен для измерения тока.

## Измерения с помощью виртуальных мультиметров

Вид мультиметра, можете это проверить, ничем не отличается от реального прибора. Но возле гнезд, куда в физическом варианте мультиметра включаются щупы, возле этих гнезд есть еще что-то... Присмотритесь к рисунку (рис. 2.10).

Используемый в программе мультиметр один из самых дешевых. Но не следует недооценивать сегодняшнюю технику — этот прибор имеет точность измерений, которая редко потребуется на практике.

Иногда это даже приводит к недоразумениям. Например, мы все знаем, что напряжение в силовой сети, куда мы включаем все бытовые приборы — это 220 вольт.

Но если вы будете измерять это напряжение мультиметром, то не думаю, что когда-нибудь увидите на дисплее прибора значение 220.

Это связано с рядом факторов, о которых можно будет поговорить позже, но вы, вероятно, и сами знаете в чем дело.

Вернемся к щупам. Как и с деталями, переместив курсор к щупу, нажмите и удержите левую клавишу мышки, переместите щуп в нужное

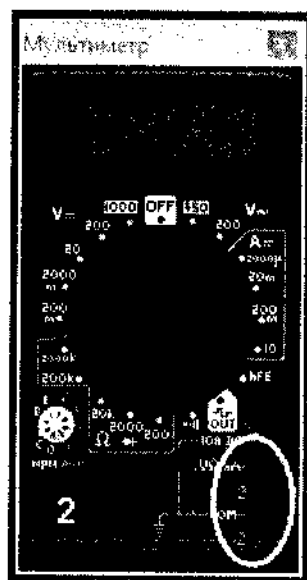
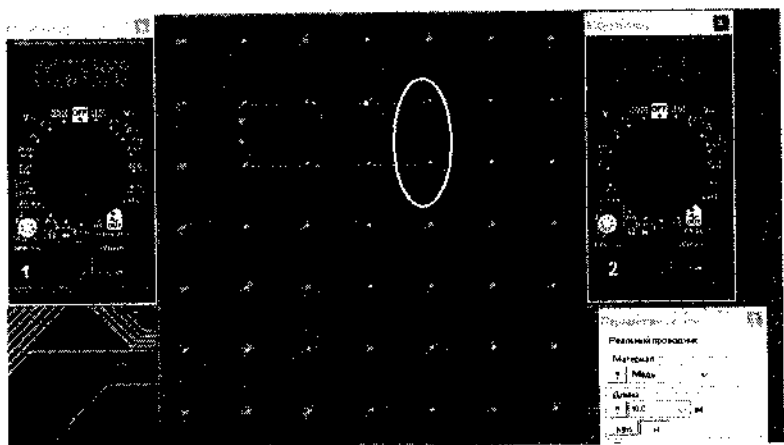


Рис. 2.10. Мультиметр с «виртуальными щупами»



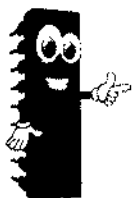
*Рис. 2.11. Подключение мультиметров к схеме*

место и отпустите клавишу. Когда курсор расположен над щупом, он приобретает вид руки, при перемещении он выглядит, как и обычный курсор, а в том месте, где вы отпустили клавишу, появится щуп с номером мультиметра (рис. 2.11).

В данном случае подразумевается, что первый мультиметр (№1) будет измерять напряжение, а второй (№2) — ток.

Эти виртуальные мультиметры, представьте себе, равно как и реальные, требуют правильного включения. Если вы поместите курсор мышки на шкалу выбора режима и предела измерения при переключателе, то курсор приобретет вид руки. Поместите курсор на нужный предел и режим измерения, щелкните по нему, и переключатель повернется, заняв нужное положение.

Если для мультиметра №1, измеряющего постоянное напряжение, не вызывает сомнений предел измерения — падение напряжения, скорее всего, не превысит 2 В, то с мультиметром №2 далеко не все ясно. Я, например, не могу сказать, какое будет сопротивление у медного проводника длиной 10 метров при заданном сечении. Поэтому переключатель второго мультиметра лучше установить на 10 А. И это типичный пример.



### **СОВЕТ.**

*Если вы не знаете, какое будет измеряемое напряжение, выбирайте предел 1000 В. Если не знаете, какой будет ток, выбирайте предел 10 А.*

Как только вы установите переключатель первого мультиметра на предел 2 В постоянного напряжения, вы увидите, что на дисплее появи-

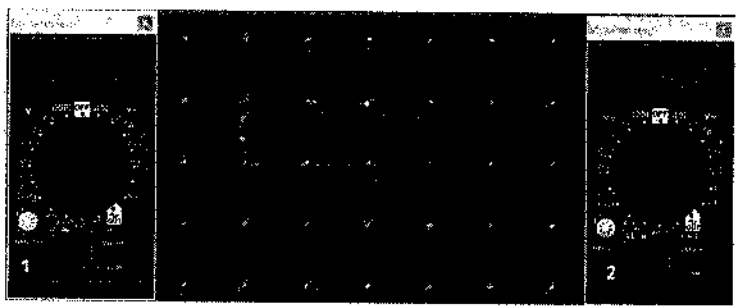
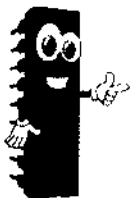


Рис. 2.12. Проведение измерений в эксперименте №1

лось значение 0. И это правильно — цепь пока разомкнута, ток не протекает, падения напряжения нет. Но, задав 10 А для второго мультиметра, вы получите замкнутую цепь (рис. 2.12).

## За компьютером и без него

Если бы вы не включили второй мультиметр на предел 10 А, то, скорее всего, вывели бы мультиметр из строя. Для возвращения прибора к жизни потребовалась бы только замена предохранителя, который установлен внутри мультиметра, но не уверен, что вы держите большой запас предохранителей у себя в столе.



### СОВЕТ.

Если вы намереваетесь провести реальный эксперимент, если у вас нет опыта работы с электрическими цепями, то измените схему эксперимента, добавив выключатель (рис. 2.13).

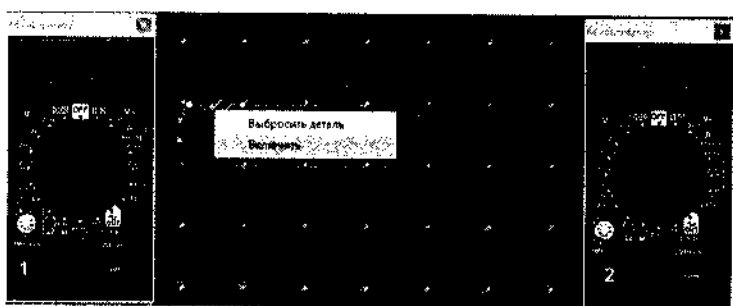
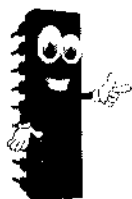


Рис. 2.13. Схема для проведения реального эксперимента

**ВНИМАНИЕ.**

После сборки схемы и включения приборов проверьте еще раз правильность соединений и правильность выбора пределов измерения. Только после этого включайте питающее напряжение. Такая практика никогда не будет лишней, позволяя вам избежать многих неприятностей, порой, ожидающих в самых неожиданных местах.

В данном случае лабораторная работа не требует перехода к реальным измерениям. Но я хочу провести реальный эксперимент (рис. 2.14).

Согласно указаниям я запишу полученные данные в таблицу (табл. 2.1).

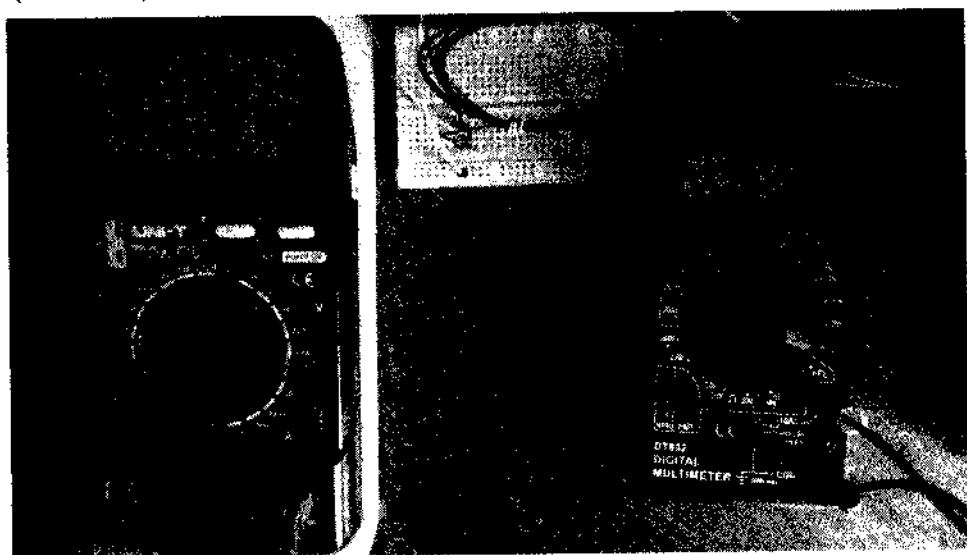


Рис. 2.14. Повторение эксперимента с реальными приборами

Результаты опыта на макетной плате

Таблица 2.1

№ опыта	Длина, м	Напряжение, В	Сила тока, А	Сопротивление, Ом	Удельное сопротивление, Ом×мм <sup>2</sup> /м	Эксперимент
1	1,44	1,034	0,28	3,69	0,72	Реальный
2	1,5	1,336	0,54	2,47	0,49	Виртуальный

По формулам, приведенным в лабораторной работе, рассчитано сопротивление и удельное сопротивление. По значению удельного сопротивления материала проводника, скорее всего, константан. Питающее напряжение внешнее и равно 1,525 В; длина проводника 1,435 м; диаметр провода 0,6 мм (то есть, сечение 0,28 мм<sup>2</sup>).

Если посмотреть таблицу удельных сопротивлений, то там указано значение 0,5. Но **константан** — это сплав, и не факт, что всегда сплав имеет указанное значение. Ниже показан результат **виртуального эксперимента**, где выбран проводник из константана с близкими параметрами длины и сечения (рис. 2.15).

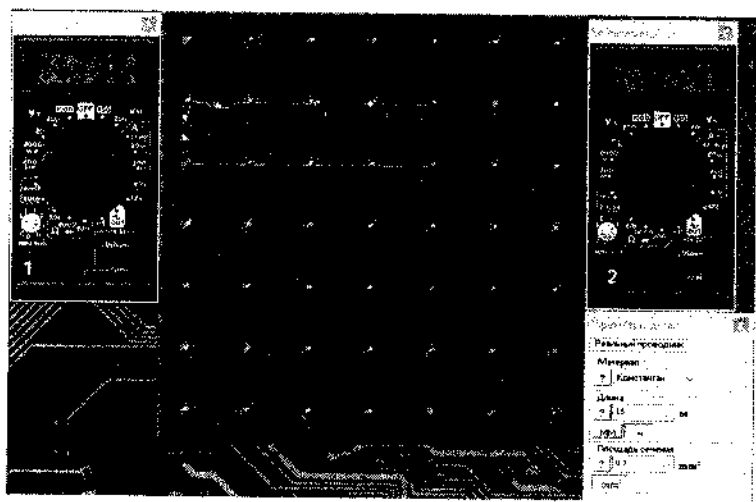


Рис. 2.15. Виртуальное проведение эксперимента

Целью эксперимента является получение значения удельного сопротивления при разной длине проводника. А меня интересует, откуда берется такая разница?

У меня есть возможность измерить очень точно сопротивление проводника. Оно, как ни странно, 3,68 Ом.

**Радиолюбитель:** Почему напряжение на сопротивлении 1,034 В, а не 1,525 В?

Правда, и виртуальный эксперимент дает значение 1,336 В, а не 1,5 В. Разница в 0,164 В, впрочем, легко объясняется тем, что виртуальная батарейка имеет внутреннее сопротивление 0,3 Ом, что и приводит при токе в 0,54 А к падению напряжения на внутреннем сопротивлении 0,162 В. Но в реальном эксперименте разница 0,491 В!

Все просто — провода мультиметра, измеряющего ток, имеют сопротивление (это достаточно точное измерение) 1,67 Ом. Сам мультиметр имеет сопротивление 0,07 Ом. Таким образом, в схему скрытно добавлено 1,74 Ом. При токе 0,28 А падение напряжения на этом добавленном сопротивлении составит 0,487 В. Остальное можно честно списать на ошибки измерений.

Я не стал бы проводить «натурные испытания», если бы не ожидал, что результаты будут весьма разниться. Так что, когда вы сравниваете результаты своих измерений с результатами моделирования, не следует спешить с выводами, лучше постараться разобраться, в чем причина расхождения.

### Сложная схема из простых элементов

Схема этого эксперимента не сложнее предыдущей. В каком-то смысле даже проще (рис. 2.16).

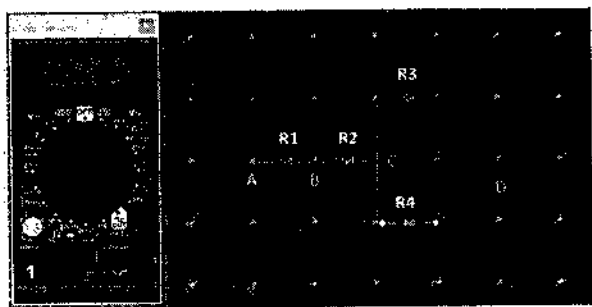


Рис. 2.16. Схема для проведения эксперимента №2

Не забудьте после размещения всех деталей на монтажной панели двойным щелчком по резистору R1 открыть панель параметров компонента (или воспользуйтесь кнопкой на основной инструментальной панели). Для резистора выберите из выпадающего списка нужное значение сопротивления.

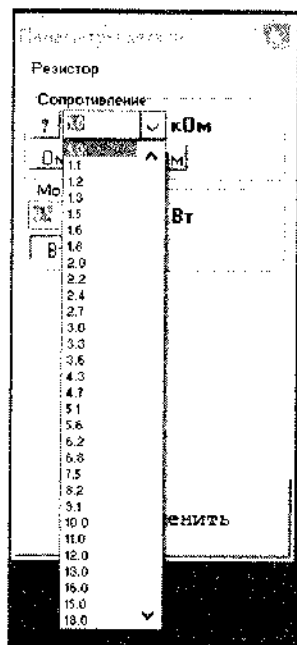
Выбор из выпадающего списка наиболее надежный способ изменить значение параметра. Но, если вы посмотрите на ряд сопротивлений, то не увидите значения 4.0 (рис. 2.17).



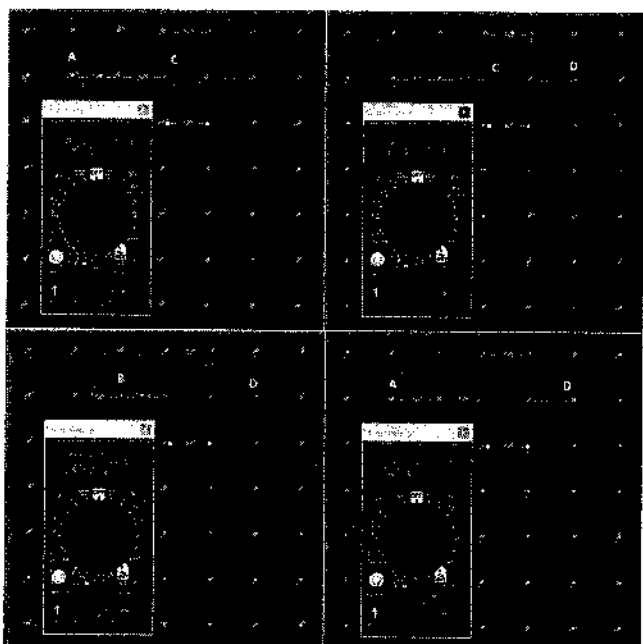
#### ЭТО ВАЖНО.

В моей ОС Windows 10 при изменении значений параметров резистора возникали проблемы. Формально можно выделить значение и изменить его, но лучше, чтобы избежать неожиданностей, выбирать значения из выпадающего списка.





*Рис. 2.17. Выбор значения сопротивления на панели параметров*

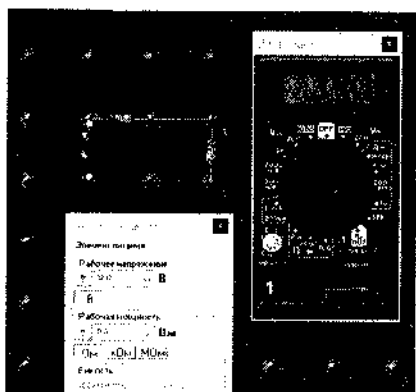


*Рис. 2.18. Проведение измерений в разных точках схемы*

В работе следует провести прямое измерение сопротивления между точками:

А и С; С и D; В и D; А и D

Вам достаточно перенести щупы прибора в нужные точки и включить его на измерение сопротивления в пределах 20 кОм (рис. 2.18).



*Рис. 2.19. Эксперимент с делителем напряжения*

Я очень советую вам проделать все, о чем пишут в задании на проведение работы. И задуматься над вопросами, которые там есть.

У меня нет подходящих резисторов, чтобы проделать это все на макете, а собирать резистор сопротивлением 4 кОм из четырех по одному килоому совсем нет желания. Но я хочу привести пример, когда мы, иной раз, забываем о таких простых вещах, как последовательно или параллельно включенные резисторы.

Вот эксперимент, о котором я говорю (рис. 2.19).

Заданное напряжение источника питания 12 В; делитель из двух резисторов одинакового сопротивления должен разделить это напряжение на два. А мультиметр показывает...

Дело в том, что резисторы имеют сопротивление по 10 МОм, а входное сопротивление мультиметра этой модели 1 МОм. И порой мы об этом забываем. Но если здесь понимание приходит очень быстро, то в сложной схеме, где резисторы имеют цветовую маркировку, подобная ошибка может привести к неверным выводам.

## Погрешности или нет...

Если рассчитать значение внутреннего сопротивления по предлагаемой формуле, то получится величина:

$$r = (U_2 - U_1) / (I_2 - I_1)$$

$$r = (0,903 - 0,674) / (0,27 - 0,19) = 2,86 \text{ (Ом)}$$

Далее в работе предлагается повторить эти измерения (рис. 2.21).

Произведем расчет еще раз:

$$r = (0,674 - 0,552) / (0,31 - 0,27) = 3,05 \text{ (Ом)}$$

В задании предлагается найти абсолютную и относительную погрешности измерений. Обычно за ошибки измерения ответственны измерительные приборы. Но 4,7% относительная погрешность в первом случае и 1,7% во втором... Я очень сомневаюсь в том, что вина за это лежит на мультиметрах.

**Радиолюбитель:** *Является ли внутреннее сопротивление батарейки величиной постоянной?*

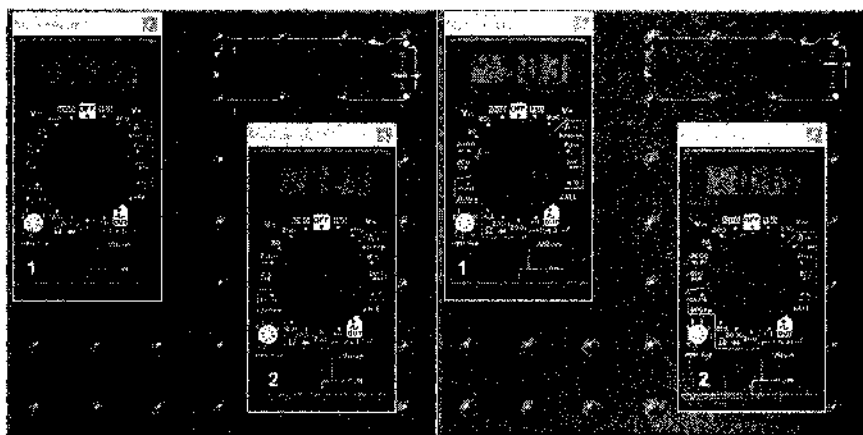


Рис. 2.20. Схема эксперимента №3

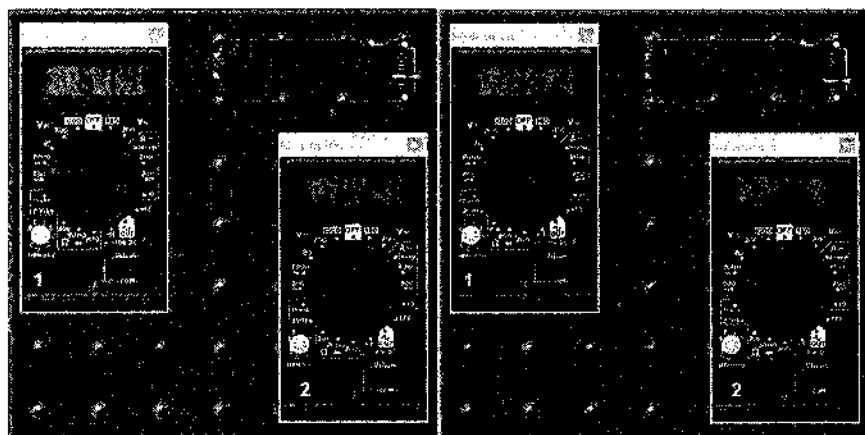


Рис. 2.21. Повторение измерений после изменения сопротивления

Я никогда не задумывался об этом, но я точно знаю, что при разряде батарейки ее внутреннее сопротивление увеличивается. Это я помню по очень давним временам, когда карманный радиоприемник начинал свистеть, а причина этого крылась именно в большом внутреннем сопротивлении разрядившейся батарейки, которое создавало паразитную обратную связь.

Вообще, когда о чем-то не задумываешься, а появляется необходимость осознать это, то не всегда ты готов принять результаты размышлений. Даже результаты, подкрепленные опытом. Сколько-то лет назад мой знакомый предложил мне рассмотреть цепь, по которой протекает значительный ток, а напряжение равно нулю. Сознаюсь, я проверял это, но и по сей день ощущаю внутреннее несогласие с результатом. Вот эта цепь (рис. 2.22).

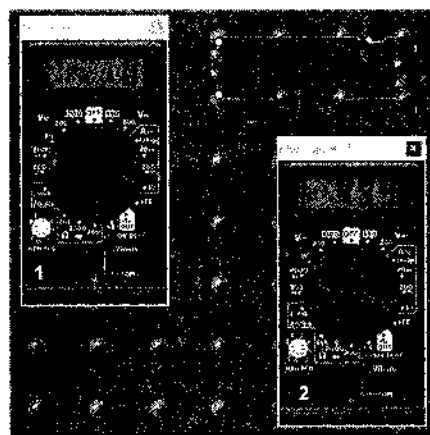


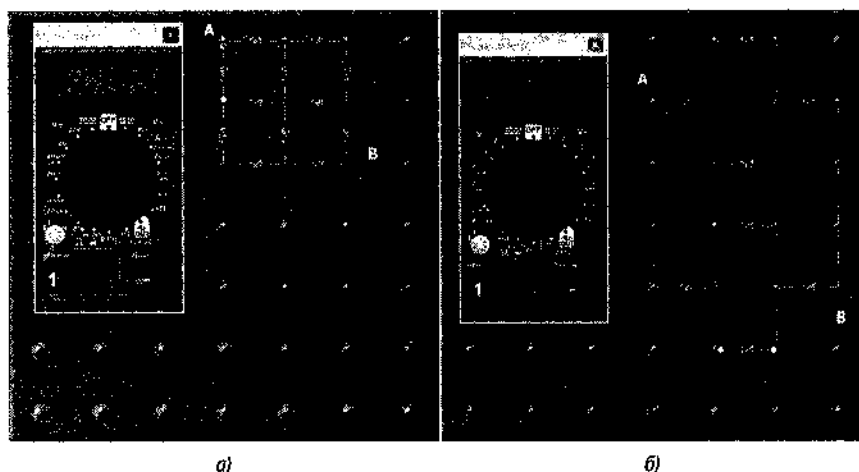
Рис. 2.22. Опыт с двумя батарейками

Ток, протекающий в цепи, около 5 А, напряжение равно нулю, что и показывает первый мультиметр. И результат не изменится, если его переключить на самый чувствительный предел измерения напряжения. Конечно, батарейки должны быть абсолютно идентичны.

Так что обязательно прочитайте, внимательно и вдумчиво, теоретическую часть эксперимента, и обязательно поразмышляйте над заданиями и вопросами в конце методички.

## Что дает преобразование электрической цепи?

В этом эксперименте приведен пример преобразования электрической цепи в эквивалентную ей цепь, но удобную для проведения расчетов. На рис. 2.23, а (первая схема) соединения резисторов не дает возможности легко ее рассчитать. Но после преобразования (вторая схема, рис. 2.23, б) электрической цепи ее легко можно рассчитать. Рассчитать требуется сопротивление между точками А и В.



**Рис. 2.23.** Пример преобразования электрической цепи:

а — исходное соединение резисторов; б — преобразованное соединение резисторов

Основано это преобразование, прочитайте теоретическую часть работы, на равенстве токов, протекающих во внутренних соединениях. И это легко проверить в программе, измеряя эти токи через элементы CO и DO, и сравнивая их с измерениями токов через элементы OF и OE (рис. 2.24).



### ЭТО ВАЖНО.

Повторяя опыты, предложенные в лабораторных работах, будьте аккуратнее при сохранении. Я не знаю, как этот процесс выглядит в Windows XP, но из-за отсутствия пункта «Сохранить как...», я несколько раз сохранял схему под одним и тем же именем. Это похоже на то, что при переносе щупов курсор иной раз выглядит как щуп, но временами принимает свой обычный вид. Раз или несколько я сохранял схему под разными именами, но чаще умудрялся разные схемы сохранить под одним именем.

*Лучше всего, как мне кажется, собрав схему для эксперимента, сохранить ее. А если вам понадобится что-то изменить в ней для другого опыта, запустите программу заново, соберите новую схему и сохраните ее под другим именем. Конечно, если вам собранные схемы нужны в дальнейшем.*

Согласитесь, что этот эксперимент очень интересен в плане его повторения. Признаюсь, я не единожды путался в расстановке «фигур на шахматной доске». Значительно упростить задачу могла бы возможность ставить метки на монтажной панели, как я сделал это в графическом редакторе. Если у вас возникли подобные трудности, то вы тоже можете воспользоваться графическим редактором, который поможет лучше разобраться в происходящем. Еще одно замечание (рис. 2.25).

Программа позволяет создавать несколько копий. Когда вы по привычке щелкаете в правом верхнем углу, вы только сворачиваете программу, а не выходите из нее. Сохраняя новую программу, вы можете сохранить ее под предыдущим именем. Поэтому следите за тем, чтобы выходить из программы с помощью кнопки «Выход» основной инструментальной панели (рис. 2.26).

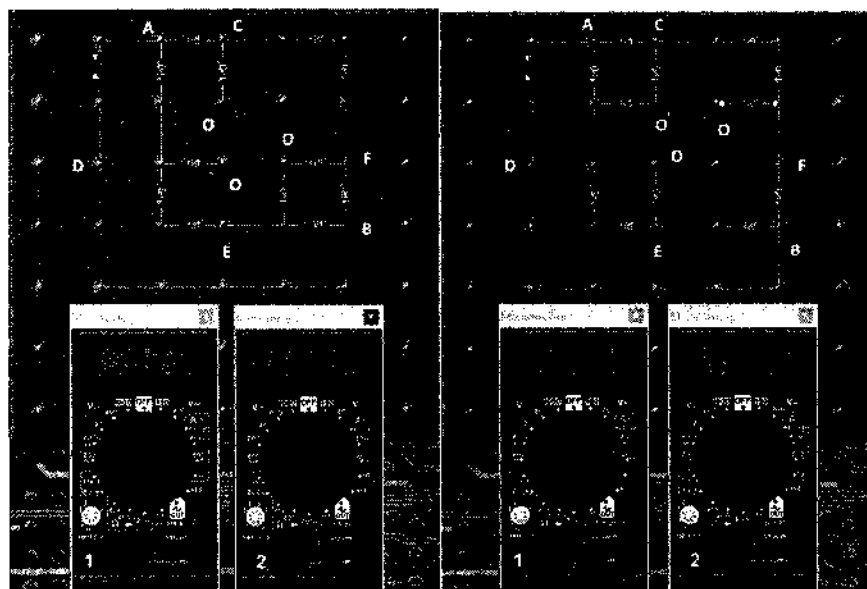
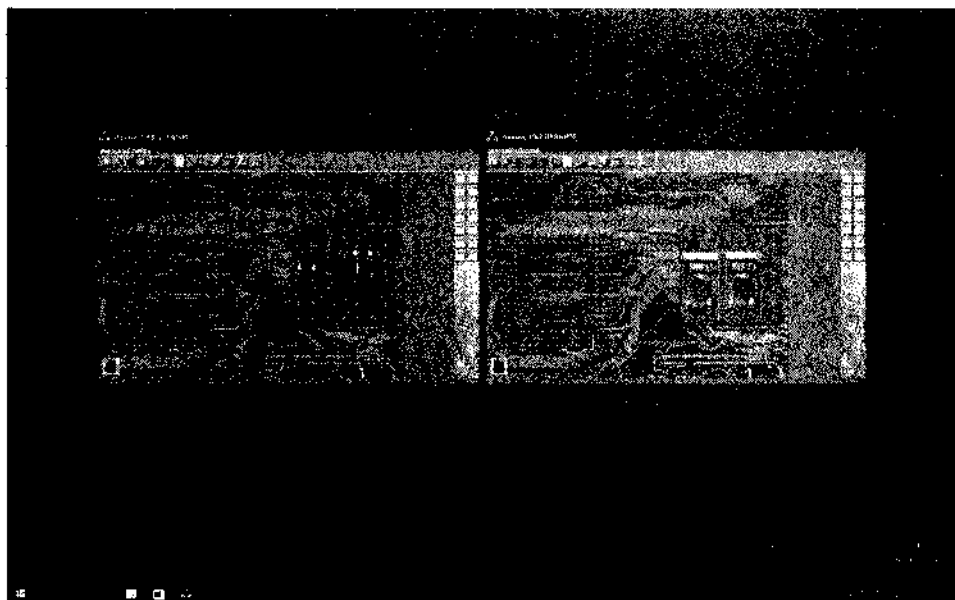


Рис. 2.24. Измерение токов во внутренних контурах



*Рис. 2.25. Несколько копий программы*



*Рис. 2.26. Кнопка выхода из программы*

## Немного о мощности до «самовозгорания» ||

Начинающие радиолюбители часто не обращают внимания на то, чему посвящена эта работа. Не проверив рассеиваемую транзистором мощность, они рискуют испортить его. И хорошо, если при этом «запахнет жареным», будет ясно, почему не работает устройство. Иначе придется долго с этим разбираться (рис. 2.27). В табл. 2.2 запишем результаты нескольких повторений опыта.

При четырех положения бегунка реостата получены разные значения мощности. Но, о чем и речь в лабораторной работе, есть пик мощности, передаваемой в нагрузку. Я немного сжульничаю (рис. 2.28).

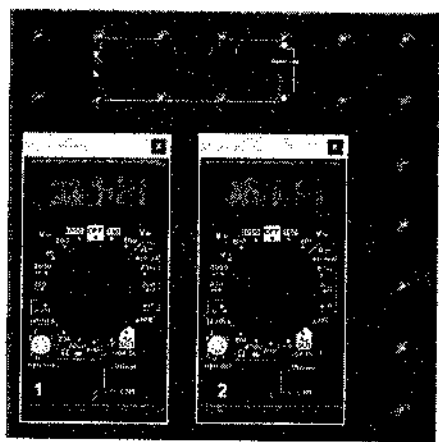


Рис. 2.27. Схема проведения эксперимента №5

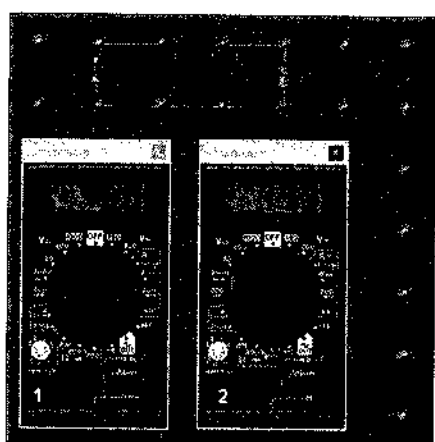


Рис. 2.28. Максимальная мощность в нагрузке

Результаты измерений в работе

Таблица 2.2

Номер опыта	Падение напряжения на резисторе, В	Ток в цепи, мА	Мощность в нагрузке, мВт
1	0,999	50	49,95
2	0,818	68,1	55,7
3	0,710	78,9	56,02
4	0,499	100	49,9
Пик	0,749	75	56,18



### ВАЖНО.

Из этих опытов на будущее вы можете запомнить — если вам нужно передать максимальную мощность, следует согласовать выходное сопротивление источника и входное сопротивление приемника.

## О предохранителях и нагрузках

Продолжаем предыдущий эксперимент. Теперь вам предстоит:

- ♦ рассчитать токи и проверить свои расчеты опытным путем;
- ♦ выбирать предохранители, мощность рассеивания на которых, переходя в тепло, расплавит предохранитель, если ток слишком большой, чем и защитит вашу силовую проводку, а вас от пожара (рис. 2.29).

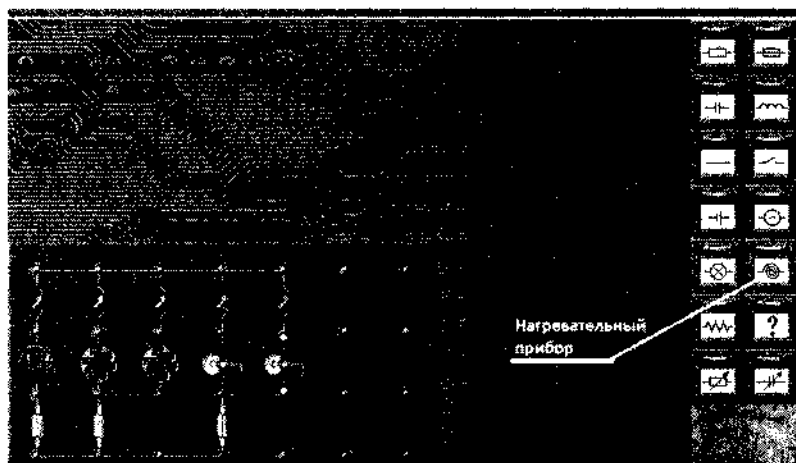


Рис. 2.29. Схема проведения эксперимента

На рис. 2.29 указан компонент «Нагреватель», остальные компоненты не вызывают затруднений при выборе. Некоторые проблемы возникли у меня с заданием требуемой мощности ламп. Поэтому вторая лампа имеет мощность 120 Вт.

Опыты с лампами и нагревателями

Таблица 2.3

	Нагреватель 1	Нагреватель 2	Лампа 1	Лампа 2
Ток в нагрузке, А	2,73	4,55	0,27	0,55

Выбирая предохранители из ряда, который предоставляет выпадающий список, мы получим такие значения (рис. 2.30).

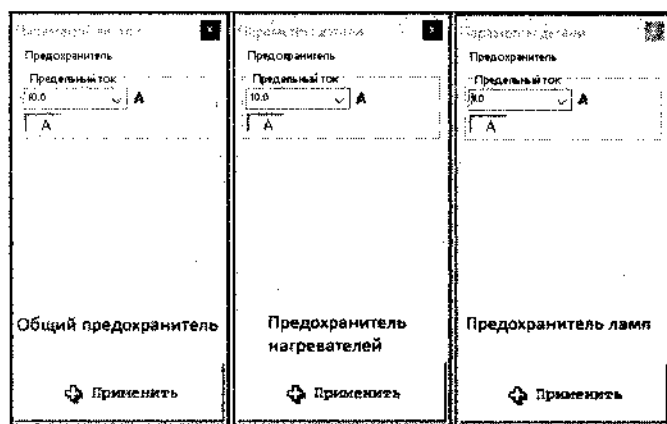


Рис. 2.30. Предохранители в программе «Начала электроники»



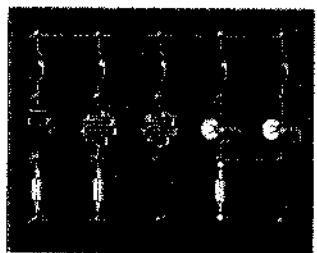


Рис. 2.31. Включение нагрузки



Рис. 2.32. Пример появления короткого замыкания в разных цепях

Выбрав предохранители, можно включить нагрузку (рис. 2.31).

Похоже, что предохранители работают, обеспечивая нас светом и теплом. Но посмотрим, что произойдет, если в разных цепях появятся короткие замыкания (рис. 2.32).

При появлении короткого замыкания в цепи любого нагревателя выходит из строя общий предохранитель. Этого можно избежать, если общий предохранитель будет на ток 15 А.

Можно было бы уменьшить рабочий ток предохранителя в цепи нагревательных приборов, но есть ли предохранитель на 9 А (рис. 2.33)?

На первом рисунке (рис. 2.33, а) короткое замыкание в цепи нагревателей вызывает перегорание предохранителя. Но это может произойти и тогда, когда вы подключите, скажем, еще один нагревательный прибор.

**Радиолюбитель:** Означает ли это, что мы улучшим ситуацию, если заменим десятиамперный предохранитель в этой цепи на предохранитель, скажем в 15 А?

Да, предохранитель, вероятно не перегорит. Но что будет с вашей проводкой?

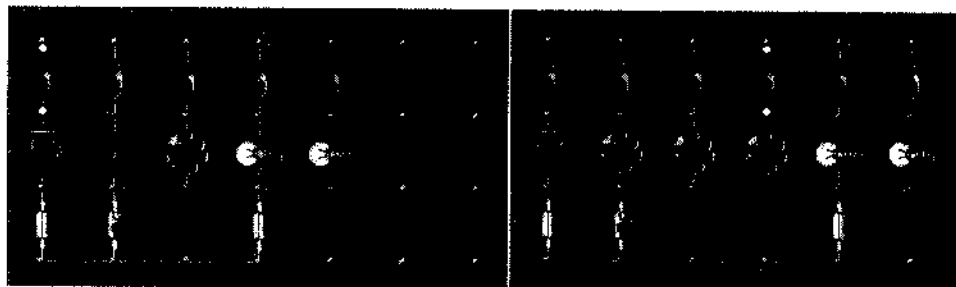


Рис. 2.33. Эксперименты с предохранителями:  
а – перегорание предохранителя при коротком замыкании;  
б – перегорание предохранителя при перегрузке

Когда проектируется проводка, то сечение проводов рассчитывают из соображений допустимой нагрузки и условий прокладки проводов. Не уверен, что вы знаете, как проложены провода. И сэкономив на замене предохранителя, вы можете вызвать перегрев силовых проводов, что может стать причиной пожара. Экспериментируйте лучше в программе «Начала электроники», а не в своем доме.

## Осциллограф вам в помощь!

Переменный электрический ток, что отличает его от постоянного тока, проходит через конденсатор. Но при этом конденсатор оказывает сопротивление протеканию тока. Есть формулы, описывающие процесс, с ними можно познакомиться и разобраться в описании лабораторной работы. Но то, как зависит падение напряжения на конденсаторе от его емкости и частоты источника напряжения, можно определить опытным путем (рис. 2.34). Очень полезно провести и расчеты, и опыты.

Индуктивность имеет, как правило, небольшое сопротивление протеканию постоянного тока, но, подобно конденсатору, ведет себя не так, как активное сопротивление, на переменном токе. Падение напряжения на катушке индуктивности зависит от тех же параметров, значения индуктивности и частоты, что и для конденсатора, но характер иной. В чем можно убедиться, проводя измерения (рис. 2.35).

Обязательно сделайте все, о чем написано в руководстве к эксперименту. Но я хотел отметить еще одно (рис. 2.36).

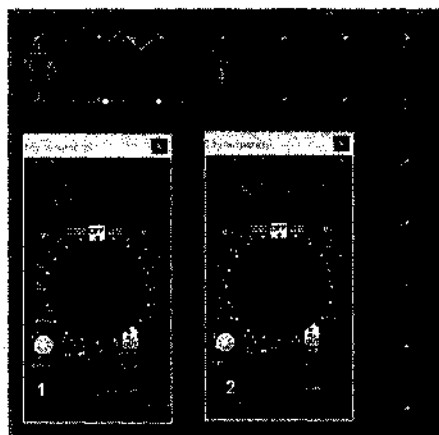


Рис. 2.34. Схема проведения первой части эксперимента

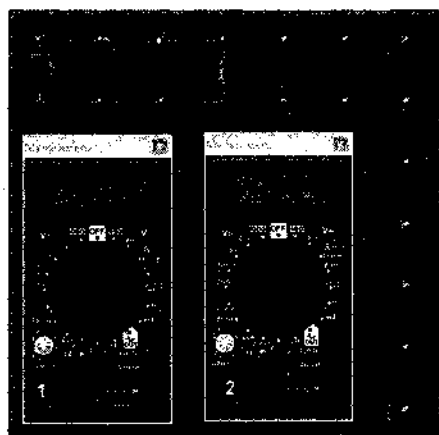
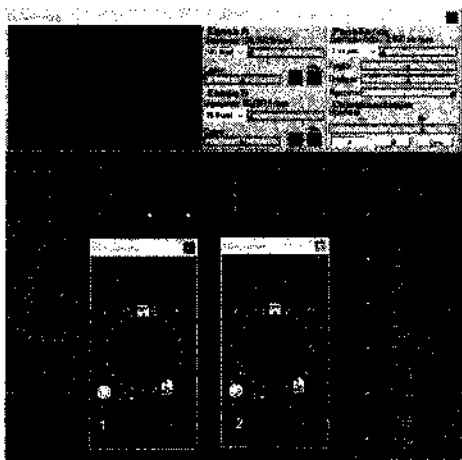
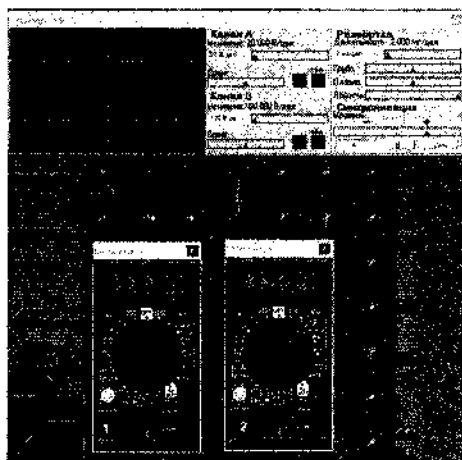


Рис. 2.35. Схема проведения второй части эксперимента



**Рис. 2.36.** Сдвиг фаз между напряжением на конденсаторе и током через конденсатор

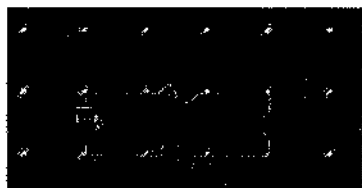


**Рис. 2.37.** Сдвиг фаз между напряжением и током в опыте с индуктивностью

Аналогично можно наблюдать сдвиг фаз и в опыте с индуктивностью (рис. 2.37).

## Выдержит ли резистор то, что вы с ним делаете?

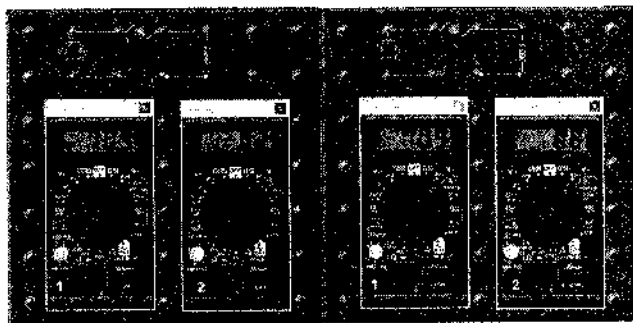
Желая поскорее показать схему эксперимента, я, другим наука, не изменил параметры резистора. И вот, что с ним случилось (рис. 2.38).



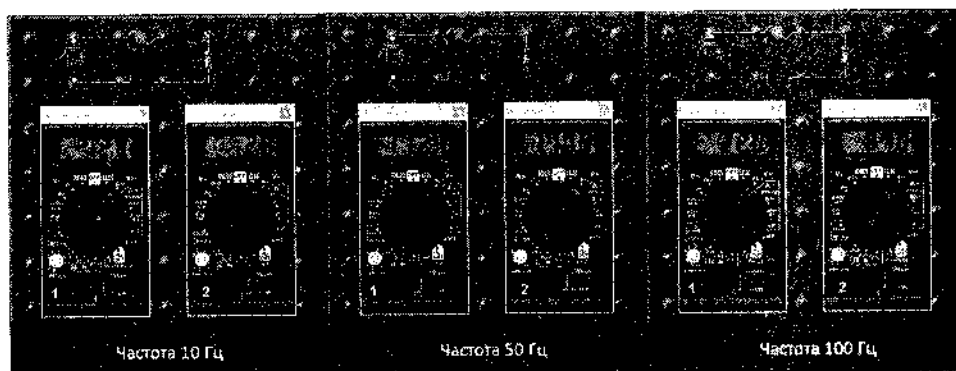
**Рис. 2.38.** Перегоревший резистор в схеме эксперимента

Задав нужную мощность резистора, можно продолжить эксперимент. Как советует описание эксперимента, следует переключать один из мультиметров, поскольку в программе их только два (рис. 2.39). Как и рекомендовано, изменяем частоту от 10 до 100 Гц (рис. 2.40). Переносим щупы второго мультиметра, фиксируем напряжение на резисторе (рис. 2.41).

В этом эксперименте приведен график изменения, в сущности, напряжения на резисторе при изменении частоты. У меня нет тех деталей, что заданы в работе, но есть индуктивность со значением 250 мкГн, конденсатор 47 нФ и резистор 110 Ом, а генератор дает напряжение 5 В. Можно посмотреть в программе, как будет выглядеть подобный график. Но я давно не проводил «натурных испытаний», а у меня есть возможность получить такой график (рис. 2.42).



*Рис. 2.39. Схема проведения эксперимента №8*



*Рис. 2.40. Изменение напряжений при изменении частоты*



*Рис. 2.41. Измерение напряжения на резисторе при тех же значениях частот*

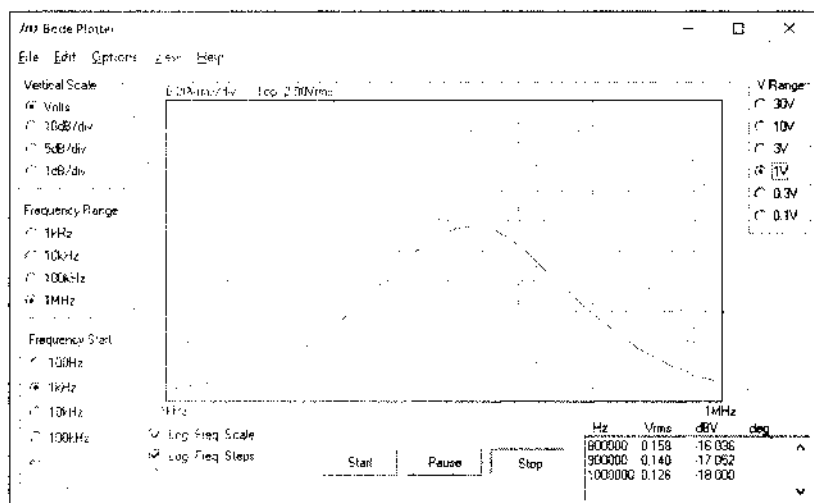


Рис. 2.42. График зависимости напряжения на резисторе от частоты

## Самые простые опыты с транзистором

Чтобы показать, а не только рассказать словами, я хочу использовать другие программы. И первая программа, которую я хочу использовать, называется **Fritzing**. Пользователям она поможет не совершать ошибки при макетировании, а руководителю радиокружка позволит лишний раз проверить готовность к переходу работы из виртуального в реальное пространство.

Введите название программы в любую поисковую систему, думаю, вы найдете, где можно скачать эту бесплатную программу. Программа не требует установки. После распаковки полученного файла папку с программой можно перенести в корневой каталог. Создайте ярлык исполняемого файла и поместите его на рабочий стол. Так будет удобнее работать с этой программой.

При первом запуске программы потребуется подождать, пока она обновится (рис. 2.43). После всех обновлений, когда программа выключится, можно повторно запустить ее (рис. 2.44).

**Радиолобитель:** *И что предлагается сделать?*

Все просто, я покажу макетную плату, где будет расположен транзистор (и все необходимое), с которым мы проведем первый опыт (рис. 2.45).

Перемычку от плюса питания и перемычку к резистору базовой цепи мы будем снимать при измерении токов коллектора и базы. Если

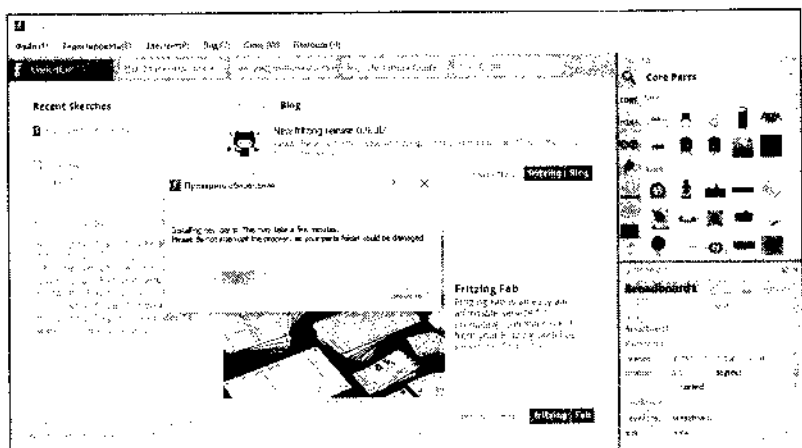


Рис. 2.43. Первый запуск программы Fritzting



Рис. 2.44. Запуск программы после ее обновления

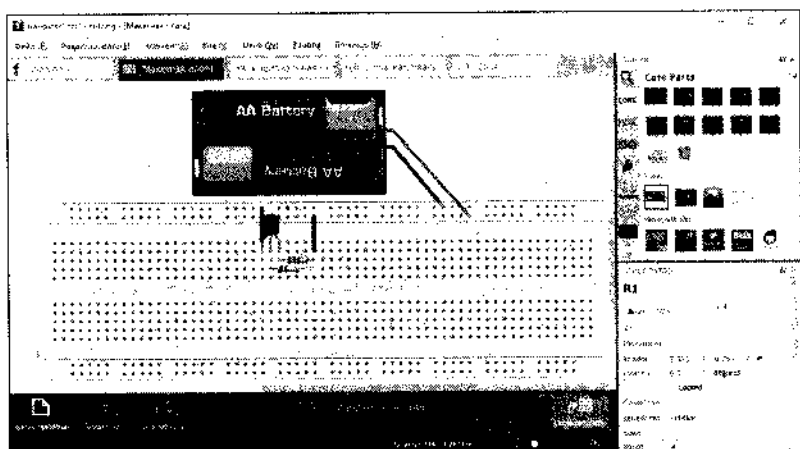
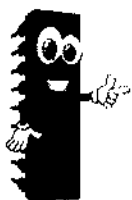


Рис. 2.45. Схема для первого опыта с транзистором

вы обратили внимание, на транзисторе есть буква N, что означает — транзистор типа p-p-n. Подводя курсор к выводам транзистора, вы можете убедиться, что слева-направо располагаются эмиттер, база и коллектор. И, если вы обратили внимание, резисторы имеют цветовую маркировку, обозначающую их значение и допустимое отклонение от этого значения. Пока мы не знаем, такие ли резисторы нам понадобятся. Постараемся это определить.

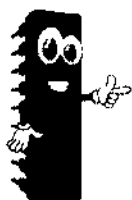
Итак. Формально для работы транзистора необходимо подать питающее напряжение между коллектором и эмиттером.



### ВНИМАНИЕ.

*Для транзистора типа p-p-n плюс питания подключается к коллектору, а минус к эмиттеру. Также формально для питания базовой цепи следует подключить питающее напряжение плюсом к базе, а минусом к эмиттеру. Величина этого питающего напряжения очень небольшая 0,5–0,8 вольт.*

На практике поступают иначе — базу транзистора через резистор подключают к плюсу основного источника напряжения. При этом перед включением схемы следует рассчитать то, что называют **рабочей точкой** — такие токи коллектора и базы, которые в отсутствии сигналов (рабочих переменных напряжений) определяют напряжение на коллекторе транзистора.



### СОВЕТ.

*Если вы предполагаете работать с симметричным входным напряжением, то на коллекторе транзистора желательно иметь напряжение равное половине питающего напряжения.*

Выше было сказано, что ток коллектора зависит от тока базы. Помним, что зависимость эта выражается почти постоянным коэффициентом, который называется **усилением тока в схеме с общим эмиттером**. А выше изображено включение транзистора с общим эмиттером. Такая схема включения транзистора используется чаще всего. И с ней проще разбираться.

## Выбор сопротивления нагрузки

Выберем сопротивление в цепи коллектора равным 1 кОм. Это пока произвольный выбор, но он близок к реальному значению. Если питающее напряжение, как это показано на рисунке, равно 3 В, то половина его будет 1,5 В. Разделим это значение на сопротивление 1 кОм, получив по закону Ома величину тока коллектора: 1,5 мА. Теперь нам нужно знать пресловутый коэффициент усиления по току. У разных транзисторов он может отличаться очень сильно. Поэтому следует его измерить для конкретного транзистора, который вы будете использовать в этом опыте.

У меня есть транзистор 2N3904. Он типа n-p-n, и расположение выводов у него такое же, как и у транзистора на рис. 2.45. Для измерения (у мультиметра это  $h_{FE}$ ) усиления используется желтый разъем мультиметра, который хорошо виден на рисунках программы «Начала электроники». Если правильно вставить ножки транзистора, переключить режим работы на измерение  $h_{FE}$ , то можно увидеть значение этого коэффициента, у меня это 149.

## Расчет сопротивления в цепи базы

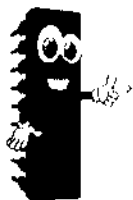
Теперь постараемся рассчитать (приблизительно) величину второго резистора на схеме.

Ток базы при токе коллектора 1,5 мА будет  $1500 \text{ мкА} / 149 = 10 \text{ мкА}$ . Напряжение на резисторе в цепи базы будет равно напряжению питания минус 0,5—0,7 В. То есть, напряжение будет равно 2,3 В. Откуда значение сопротивления  $2,3 \text{ В} / 10 \text{ мкА} = 230 \text{ кОм}$ .

Типовое сопротивление в ряду — это 220 кОм. Заменяя это сопротивление, можно считать подготовку к опыту завершенной. Но хотелось бы получить графическое изображение схемы. Это можно выполнить, если воспользоваться кнопкой **Принципиальная схема**. Правда, изображение нужно будет поправить (рис. 2.46).

Щелчок правой клавишей мышки, когда курсор на детали, вызывает появление выпадающего меню, где есть все необходимое для поворота и отражения каждого элемента схемы.

### СОВЕТ.



Кроме того, можно «подцепить мышкой», используя левую клавишу мышки, которую на время перемещения следует удерживать, и переместить каждый элемент, включая провода, в новое место.



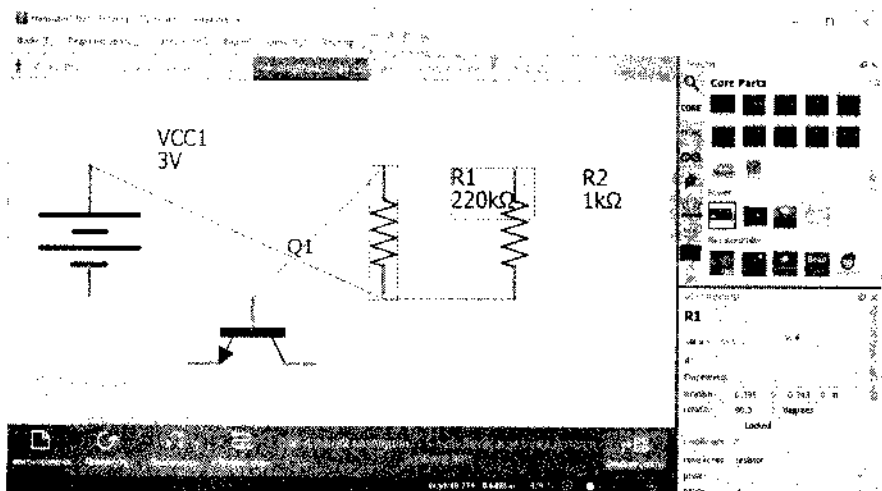


Рис. 2.46. Принципиальная схема в программе Fritzing

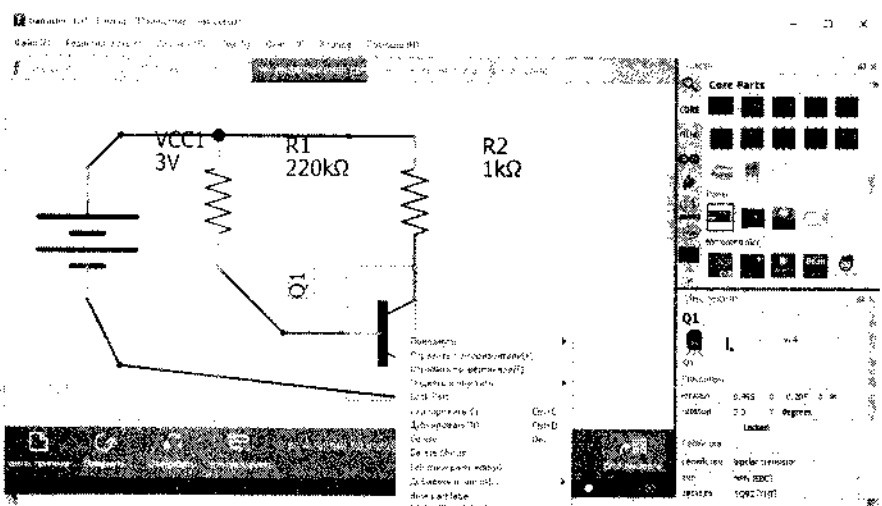


Рис. 2.47. Исправленное изображение схемы

Для простой схемы это не займет много времени, но вы получите схему в том виде, который легко читается (рис. 2.47).

## К реальной макетной плате!

Конечно, справедливости ради следовало бы добавить выключатель в цепь питания. Но при напряжении 3 В, мне кажется, это не обя-

зательно. Собрав на макетной плате схему, следует проверить напряжение на коллекторе. Оно должно быть около 1,5 В.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

У меня нет нужного резистора 220 кОм, поэтому я использую резистор номиналом 200 кОм (рис. 2.48).



Рис. 2.48. Эксперимент на макетной плате

Разделим ток коллектора на ток базы:

$$Вст = 1618/11 = 147.$$

Очень близко к тому, что было измерено мультиметром. Заменяв резистор 200 кОм резисторами с меньшим и большим значением сопротивления можно составить таблицу. Напряжение на коллекторе получим, вычитая из 3 В результат умножения 1 кОм на ток коллектора. Результаты реального опыта сведем в табл. 2.4.

Результаты реального опыта

Таблица 2.4

Испытание №	Резистор в цепи базы, кОм	Ток коллектора, мкА	Ток базы, мкА	Вст	Напряжение на базе, мВ	Напряжение на коллекторе, В
1	180	1730	13	133	697	1,27
2	190	1642	12	136	695	1,358
3	200	1618	11	147	694	1,382
4	210	1580	10,5	150	692	1,42

Как можно видеть из табл. 2.4, значение коэффициента усиления меняется не столь существенно при изменении тока коллектора. Но из табл. 2.4 можно извлечь больше.

## О чем нам расскажут цифры

Составим новую таблицу (табл. 2.5).

Таблица пересчета данных

Таблица 2.5

№	Разность токов коллектора, мкА	Разность токов базы, мкА	Отношение разностей токов
1	88	1	88
2	24	1	24
3	38	0,5	76

Первая разность коллекторных токов:

$$\Delta I_k = 1730 - 1642 = 88 \text{ (мкА)}$$

Разность базовых токов:

$$\Delta I_b = 13 - 12 = 1 \text{ (мкА)}$$

Их отношение — это **динамический коэффициент усиления по току**.

Попробуем **определить**:

- ♦ разность напряжений на коллекторе;
- ♦ разность напряжений на базе.

Но вначале оценим сопротивление база-эмиттер. Возьмем из первой таблицы первые два значения изменения напряжения на базе (2 мВ) и разделим на изменение тока базы (1 мкА) получим 2 кОм. Внесем полученные данные в табл. 2.6.

Таблица отношений напряжений

Таблица 2.6

№	Разность напряжений на коллекторе, мВ	Разность напряжений на базе, мВ	Отношение напряжений
1	88	2	44
2	24	1	24
3	38	2	38

Полученное отношение напряжений можно назвать **коэффициентом усиления по напряжению**. И эти рассуждения помогают понять, как происходит усиление по напряжению.

Мы договорились, что **усиление по току** происходит благодаря свойствам транзистора, где базовый ток и коллекторный ток связаны зависимостью

$$I_k = \beta_{ст} \times I_b$$

### ПРИМЕЧАНИЕ.



Мы это проверили, но с усилением по напряжению не все так понятно.

Мы получили этот коэффициент как отношение изменения напряжения на коллекторе к изменению напряжения на базе. Конечно, результат не вполне корректен, это так. Мы изменяли ток базы, меняя сопротивление в цепи базы. На практике изменение тока базы происходит при изменении напряжения сигнала, которое подается на базу.

Но мы показали, что изменения тока базы, приводящие к изменению тока коллектора, меняют напряжение на коллекторе, которое, благодаря усилению тока коллектора транзистором, будет существенно больше изменения напряжения на базе.

## Первая примерка или...

Мы можем проверить, насколько расходятся наши «прикидочные» расчеты с реальными измерениями. Ориентировочное сопротивление база-эмиттер позволит нам определить, можно ли подключить генератор, чтобы не перегрузить его. Кроме проблемы перегрузки мы можем ориентироваться на то, какие величины сопротивлений мы можем применить, если нам потребуется делить напряжения на выходе генератора.

Вот сигнал на выходе транзистора, на вход которого подан сигнал с частотой 1 кГц и амплитудой 10 мВ (рис. 2.49).

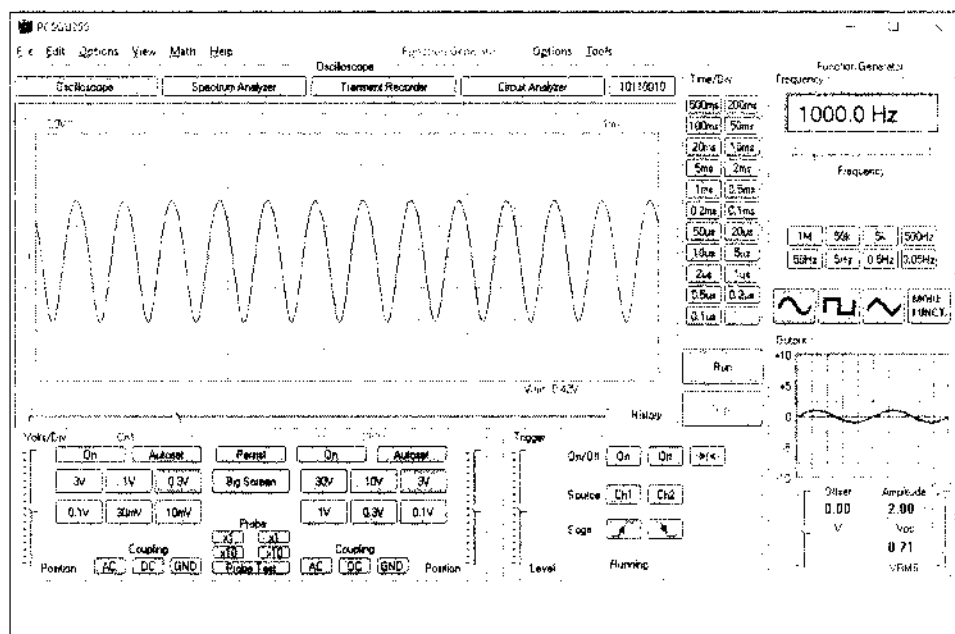


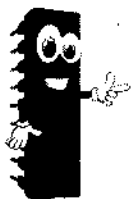
Рис. 2.49. Выходной сигнал однокаскадного усилителя

Амплитуда выходного сигнала 480 мВ, что означает — коэффициент усиления по напряжению равен 48. Что вполне похоже на полученные нами значения не в результате расчетов, а при весьма простых рассуждениях.

## Насколько можно доверять компьютерной программе

Вспомним, что назначение компьютера все-таки не в просмотре новых записей блогеров в соцсетях, а в вычислениях. Компьютер умеет хорошо и быстро считать. А любая разработка электроники и радиоэлектроники в значительной мере связана с расчетами. Программы же моделирования и занимаются расчетами, выполняемыми компьютером.

При постоянной работе с программой моделирования, сравнении результатов ее работы с результатами макетирования вырабатывается оценка того, насколько можно доверять компьютерному моделированию.



### СОВЕТ.

*Но это не исключает и того, что, работая с программой, самому следует быть внимательным.*

Недавно, записывая рассказ, который будет позже в этой книге, я поспешил, но хорошо, что позже заметил свою ошибку. Вот она, думаю, вы быстрее обнаружите ее, хотя программа моделирования была не против такого варианта (рис. 2.50). Схема исправно работала.

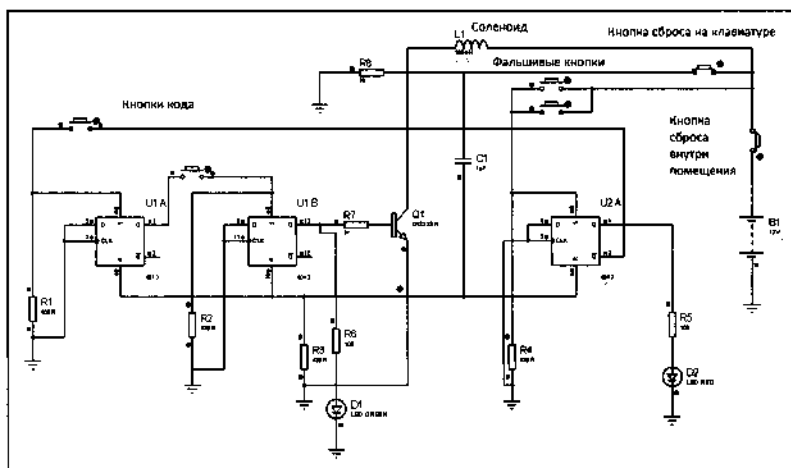


Рис. 2.50. Ошибочное построение схемы в программе моделирования

# РАДИОСИГНАЛЫ ИЗ ПРОШЛОГО И НАСТОЯЩЕГО

## Понятие информации

Радиоволны, попадая на антенну, формируют переменный ток. В простейшем случае, когда антенна соединена с колебательным контуром, который подключен к земле, мы получим самое простое устройство для получения информации от радиостанции.

**Радиолобитель:** *Что же такое информация?*

Если определить понятие информации простыми словами, то это сообщение, которое содержит что-то новое, что-то интересное или полезное. Википедия дает такую справку по информации.



### СПРАВКА.

**Информация** (от лат. *informatio* «разъяснение, представление, понятие о чем-либо»; *informare* «придавать вид, форму, обучать; мыслить, воображать») — любые сведения, независимо от формы их представления.

*Несмотря на широкую распространенность, понятие информации остается одним из самых дискуссионных в науке, а термин может иметь различные значения в разных отраслях человеческой деятельности.*

В электронике информацию несет, например, противопожарный датчик, а именно: «Горим, ноги в руки и бежать!!!». Но в радиоэлектронике задача, в большей мере, относится к переносу информации на расстояние. Расстояние может быть небольшим: у вас автомобиль припаркован недалеко от дома. Задача сигнализации сообщить вам о

том, что с автомобилем что-то неладно. Разумное решение — передача информации на брелок, который у вас под рукой. Неразумное решение, и радиоэлектроника здесь ни причем, включить сирену, встроенную в автомобиль. Соседи всегда вам благодарны за это, особенно ночью.

## || Поговорим о радиопередачах

Сегодня основными пользователями радиопередач, наверное, остаются автомобилисты и пенсионеры. Первым удобнее включить радиоприемник, где среди множества радиостанции легко выбрать что-то «по вкусу», чтобы мириться с рекламой, а у последних, думаю, сохранились трехпрограммники, которые включены в проводную радиосеть.

Обустройство многопрограммного радиовещания очень похоже на беспроводное радио. Сегодня в платежных документах есть графа оплаты проводного радио. У нас в доме с момента его построения были розетки, после ремонта они исчезли, но мы оплачиваем их, чтобы сохранить эту форму радиовещания и оповещения.



*О том, как возникло и развивалось проводное вещание, вы можете прочитать материал, используя эту ссылку. Если, конечно, это вам интересно. Но это не обязательно! Но интересно.*



Когда-то давно в каждом доме были большие громкоговорители-приемники радиопрограммы. Как правило, их не выключали, разве что на ночь. Начинался день для школьников с «Пионерской зорьки», для взрослых передавали новости, а для «тех, кто дома» — радиожурналы, как «Родная природа», или радиопостановки. Для многих эта привычка трансформировалась в то, что сегодня телевизор может работать весь день, как раньше работал трехпрограммный приемник.

Молодежь предпочитает получать информацию из Интернета. Но Wi-Fi вашего смартфона — это сфера деятельности радиоэлектроники. И информация в Интернете становится так обвешана рекламой, что заставляет думать — Интернет стал способом отобрать у нас деньги, как, впрочем, и информация в радиоприемнике или телевизоре. Сейчас, включив телевизор, я могу смотреть сотни программ, могу слушать радиопрограммы, могу зайти на почту, которая исторически у меня на Яндексе. А вы можете смотреть телепередачи на смартфоне по дороге на работу или в учебное заведение, удобно расположившись в трамвае или автобусе.

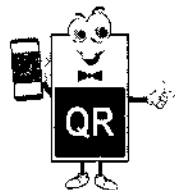
Сегодня в нашей стране перешли к цифровому телевизионному вещанию. Но не стоит думать, что на экране телевизора появятся цифры. Никто так и не думает. Никто из обычных людей и не думает, чем цифровое вещание отличается от аналогового. Но, если вас интересует радиоэлектроника, то задуматься следует.

Пусть ученые продолжают спорить, что такое информация, а мы посмотрим, как эту информацию можно передать и на короткие, и на длинные расстояния.

## Говорит Москва!

Исторически сложилось так, что первым способом совместить информацию с передачей на расстояние была амплитудная модуляция несущей высокой частоты. Телеграфный способ передачи с помощью азбуки Морзе сегодня кажется архаичным и неинтересным. Но так ли сильно он отличается от цифрового? Давайте разбираться.

При подготовке материала к этой книге я наткнулся на очень интересную статью. Прочитайте ее.



*Рассказ С. Андрианова о сборке радиоприемника в стародавние времена, аж в 1949 году, по материалам книги И. Г. Беляева «Как самому сделать детекторный приемник».*



Раньше по радио можно было часто слышать эту фразу: «Говорит Москва!». Диктор, находясь в студии перед микрофоном, произносил эту фразу. И ее слышали миллионы людей в радиоприемниках.

**Радиолобитель:** *А как голос диктора из студии долетал до слушателей?*

Первое, что начинает работать для этого — это **микрофон**. Он преобразует звуковые волны голоса диктора в изменение напряжения. Изменение напряжения происходит по тому же закону, по которому изменяется звуковое давление. Есть разные типы микрофонов: динамические, ленточные, конденсаторные и т. д. В любительской практике удобно применять электретный микрофон. При невысокой стоимости он отличается очень хорошими характеристиками.

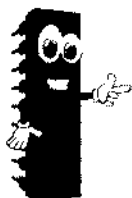


## Друзья микрофона

Микрофон генерирует небольшое напряжение, которое зависит от типа микрофона, от долей милливольт до десятка милливольт. Поэтому далее в цепочке превращений обязательно появится усилитель.

Было время, когда в качестве основы любого усилителя использовались **электронные лампы**. Изменения напряжения, подводимого между катодом и сеткой, меняло поток электронов от катода к аноду, то есть, величину тока через радиолампу, а на резисторе в анодной цепи входное напряжение повторялось по закону изменения, но было больше входного. Таким образом, электронная лампа усиливала напряжение.

Отличало радиолампу то, что сеточный ток, как правило, отсутствовал. В этом радиолампа больше похожа на **полевой (или канальный) транзистор**. У канального транзистора ток протекает по полупроводнику одного типа от истока к стоку. Третий электрод транзистора, затвор, меняет ширину канала в полупроводнике под действием напряжения между истоком и затвором. Что, в свою очередь, меняет ток через транзистор.



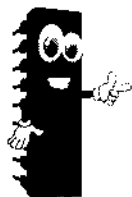
### ПРИМЕЧАНИЕ.

*При этом ток между затвором и истоком почти не протекает, в чем полевой транзистор очень похож на электронную лампу.*

С появлением транзисторов они уверенно заняли место электронных ламп. Посмотрим, как в принципе биполярный транзистор усиливает напряжение.

Соберем схему **однокаскадного усилителя на транзисторе** (рис. 3.1).

В **главе 2** при знакомстве с предметом нам помогала программа «Начала электроники».



### ПРИЗОВЕМ НА ПОМОЩЬ ПК.

*Используем программу QucsStudio.*

В этой главе мы будем обращаться к **программе QucsStudio** по мере необходимости.

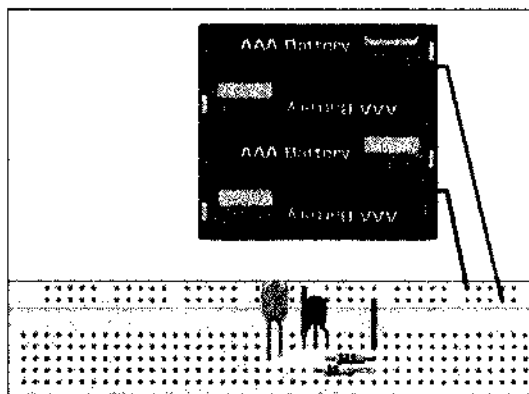


Рис. 3.1. Транзистор в схеме с общим эмиттером

## Несколько слов о программе QucsStudio до начала работы с ней

Программа использует графическое изображение компонентов, как это применяется при рисовании схем, и как мы видим в программе Fritzing, когда переходим к принципиальной схеме. Программа QucsStudio во многом поддерживает интерфейс предыдущей версии, Qucs. Рассказ о том, как работать с этой программой, можно найти на моем сайте, где есть и руководства к программе.

График напряжения на выходе каскада (рис. 3.2) можно сравнить с тем, что получен на макетной плате (в главе 2).



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*То, что выходной сигнал такой же, как при реальном измерении, надеюсь, добавит вам уверенности, что моделирование — удобная замена реальным измерениям.*

И еще, если вам удобнее работать с русскоязычным интерфейсом, используйте программу Qucs. К сожалению, программы не полностью совместимы. Нельзя открыть программу, созданную в QucsStudio, в программе Qucs, и наоборот.

Если микрофон развивает напряжение 1 мВ, то усиления, которое дает эта схема, не хватит. Можно добавить еще один каскад (рис. 3.3).

На рис. 3.3 можно видеть, что программа Qucs внешне очень похожа на QucsStudio, но имеет интерфейс русскоязычный. Более того, очень многие процессы полностью идентичны. Поэтому можно прекрасно пользоваться программой Qucs.

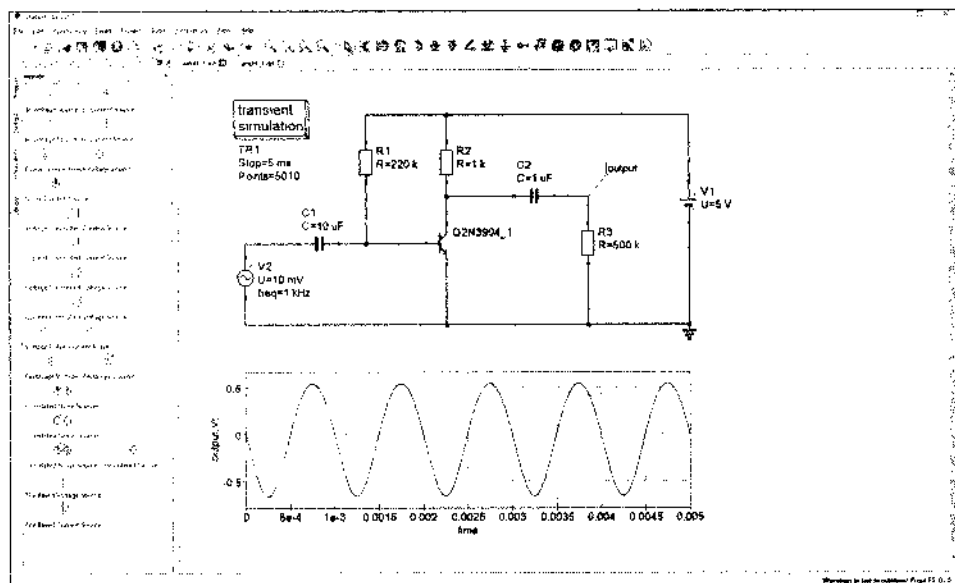


Рис. 3.2. Моделирование схемы в программе QucsStudio

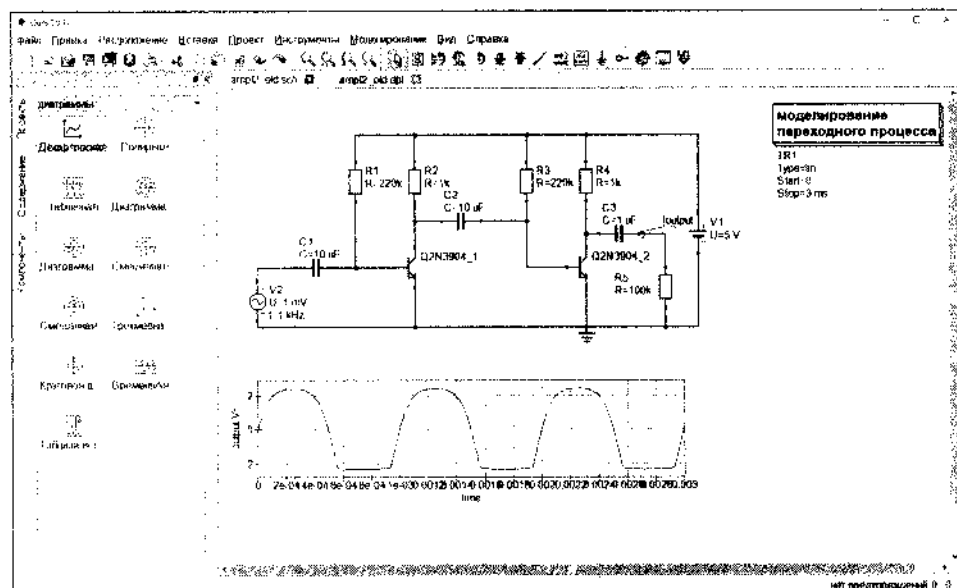


Рис. 3.3. Моделирование двухкаскадного усилителя в программе Qucs

Но нас в данный момент больше интересует сигнал, который не так похож на синусоиду, как это было раньше. Причина в том, что усилитель перегружен. Суммарное усиление оказалось слишком большим. Что можно предпринять в этом случае? Об этом мы поговорим, когда начнется разговор про усилители. А сейчас будем считать, что мы добились нужного усиления речи диктора.

### Голос диктора усилили, что дальше?

Чтобы передатчик мог создать эффективную радиоволну, нужен **генератор высокочастотного напряжения**. О генераторах мы тоже поговорим позже, а сейчас я хочу привести пример реального устройства. Сегодня на Алиэкспресс можно купить недорогую пару передатчик и приемник, работающие на частоте 433 МГц. Пара предназначена для передачи данных, но нам важен принцип работы устройства.

Схема передатчика, если верить Интернету, выглядит так (рис. 3.4).

Если мы ненадолго забудем о радиовещании, то амплитудно-модулированный сигнал должен нести информацию: будут ли это последние известия, будут ли это данные, — любой сигнал, правильно переносимый высокочастотной несущей, это полезный сигнал.

Когда амплитуда высокочастотного напряжения, производимого генератором, меняется под действием питающего напряжения, то мы должны получить **амплитудно-модулированный сигнал**. Повторим его, чтобы вам не возвращаться назад (рис. 3.5).

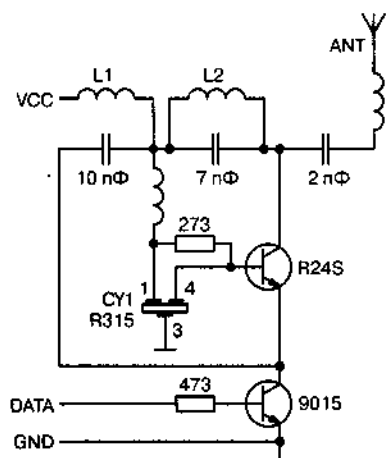


Рис. 3.4. Схема передатчика

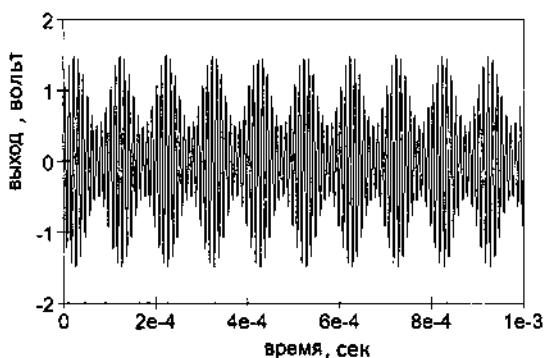


Рис. 3.5. Амплитудно-модулированный сигнал

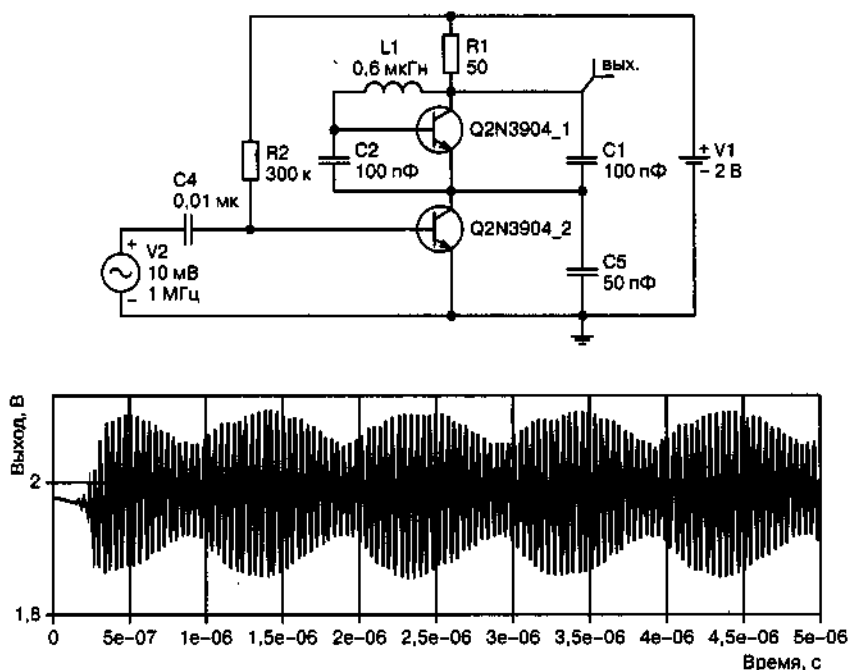


Рис. 3.6. Моделирование схемы передатчика

Усиленный сигнал поступает в передающую антенну, и голос диктора отправляется «в эфир».

Попробуем собрать схему для моделирования амплитудно-модулированного сигнала. Частоты, конечно, не будут такими, как требуется, но пока наша цель получить амплитудно-модулированный сигнал (рис. 3.6).

## Как в программе работать с АМ-сигналами

Схема моделируется не очень уверенно, это так. Но в программе есть и другие возможности работать с амплитудно-модулированным сигналом, а для более уверенного моделирования можно попытаться настроить схему. Генератор, к слову, собран по **схеме емкостной трехточки**.

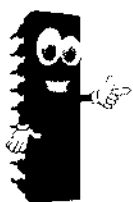
У меня в настоящее время нет необходимых деталей для повторения схемы на макетной плате, но у вас есть возможность приобрести модули, работающие на частоте 433 МГц, для проведения «натурных

испытаний». Хотя я сомневаюсь, что у вас, как и у меня, есть возможность увидеть амплитудно-модулированный сигнал с несущей частотой этих модулей.

**Радиолобитель:** *Зачем видеть несущую частоту?*

Когда мы говорили про усилители, были упомянуты нелинейные искажения, и более того, искажение сигнала можно было увидеть при моделировании перегруженного усилителя. Если нелинейные искажения в звукоусилении проявляются, например, хрипами, то, причем здесь искажения несущей частоты?

Вернемся ненадолго к звукам.



#### СПРАВКА.

*Любой звук, кроме основного тона, имеет обертона, которые позволяют нам отличить звук скрипки от звука фортепьяно. Если обертона меняются, то меняется и звучание музыкальных инструментов.*

А изменение обертонов связано с нелинейными искажениями. При нелинейных искажениях усиление основной частоты и дополнительных частот разное. Обертона могут усиливаться больше, чем основная частота.



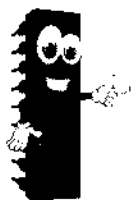
#### ЭТО ВАЖНО.

*Математик Фурье доказал, что любую периодическую функцию можно разложить в ряд на простейшие функции, подчиняющиеся определенным условиям.*

То есть, любой сигнал можно представить как совокупность основной частоты и кратных ей частот с определенными амплитудами и фазами. Если преобразование линейное, то соотношение не меняется, иначе происходит искажение исходного сигнала.

На практике оценка нелинейных искажений в звуковом оборудовании осуществляется измерением **коэффициента нелинейных искажений**.

## || Коэффициент нелинейных искажений – что это?



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

*Коэффициент нелинейных искажений – это отношение напряжения, полученного после вырезания основной частоты с помощью фильтра, к напряжению исходного сигнала, выраженное в процентах. В других случаях используют спектральный анализ.*

Гармонический анализ использует в качестве функций, на которые раскладывается сигнал, синус и косинус. А спектральный анализ показывает значения амплитуды и фазы, как основной частоты, так и кратных ей частот составляющих функций.

Прежде, чем перейти к рассмотрению спектра сигналов, вернемся к несущей частоте. Если несущая частота имеет большие нелинейные искажения, тогда в спектре сигнала присутствуют значимые амплитуды сигналов с частотой в два, три и больше раз, а передатчик занимает частоты других вещательных станций, явно создавая им помехи.

Приведенная на рис. 3.4 схема передатчика дает такой вид несущей частоты (рис. 3.7).

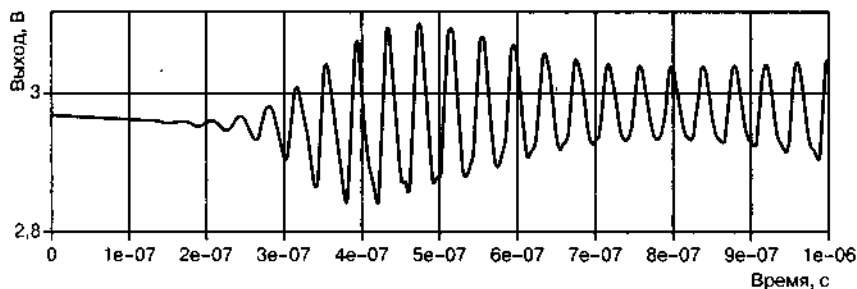


Рис. 3.7. Вид несущей частоты схемы передатчика

## || Спектры разных сигналов

Посмотрим на спектры синусоидального сигнала, сигнала прямоугольной формы и сигнала треугольной формы.

Все сигналы будут генерироваться реальным генератором, имеющим неплохие показатели. А графики результатов будут сниматься при

работе реального осциллографа-приставки к компьютеру (рис. 3.8, рис. 3.9, рис. 3.10).

Позже мы проведем моделирование нелинейной цепи в программе Qucs, посмотрим спектр полученного сигнала. А затем, проверим, можно ли получить исходный сигнал, если взять совокупность гармонических составляющих. Когда-то, довольно давно, мне уже приходила в голову такая идея, я использовал данные, полученные расчетным путем. Сегодня у меня нет желания проводить расчеты, поэтому я воспользуюсь готовыми результатами.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Маркеры отмечают третью гармонику.

Если судить о нелинейных искажениях синусоидального сигнала по третьей гармонике, то получится значение порядка 1%. Такой генератор не подходит для исследования искажений усилителей класса Hi-Fi, но вполне подходит для других целей.

Вот схема в программе Qucs, вид полученного сигнала и его спектр до четвертой гармоники (рис. 3.11). Давайте, убедимся в том, что с помощью синусоидальных сигналов можно синтезировать сигналы другой формы (рис. 3.12).

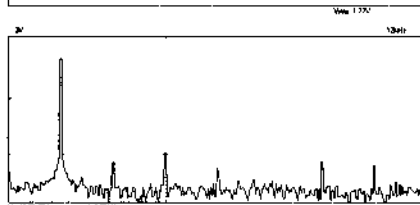
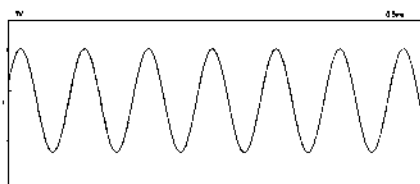


Рис. 3.8. Синусоидальный сигнал 1 кГц и его спектр

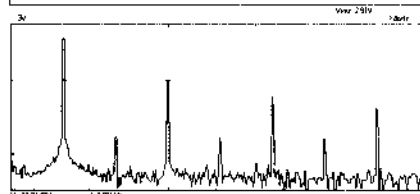
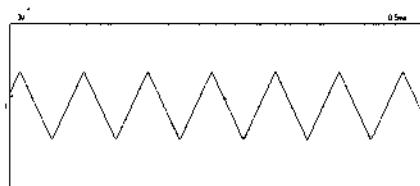


Рис. 3.9. Сигнал треугольной формы и его спектр

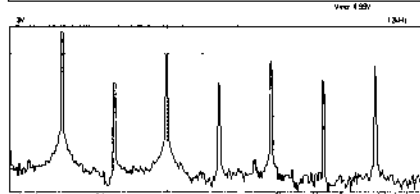
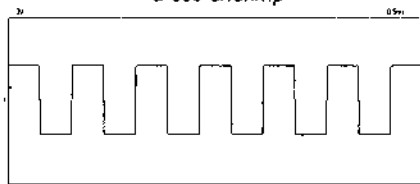


Рис. 3.10. Сигнал прямоугольной формы и его спектр



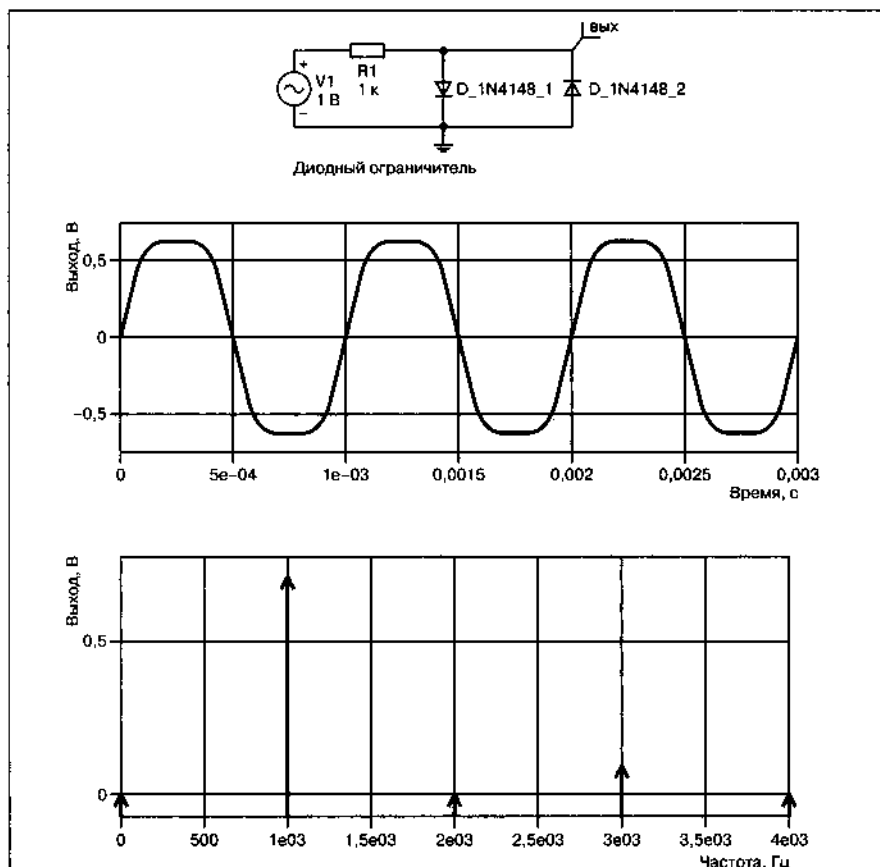


Рис. 3.11. Искажение синусоидального сигнала и спектр полученного результата

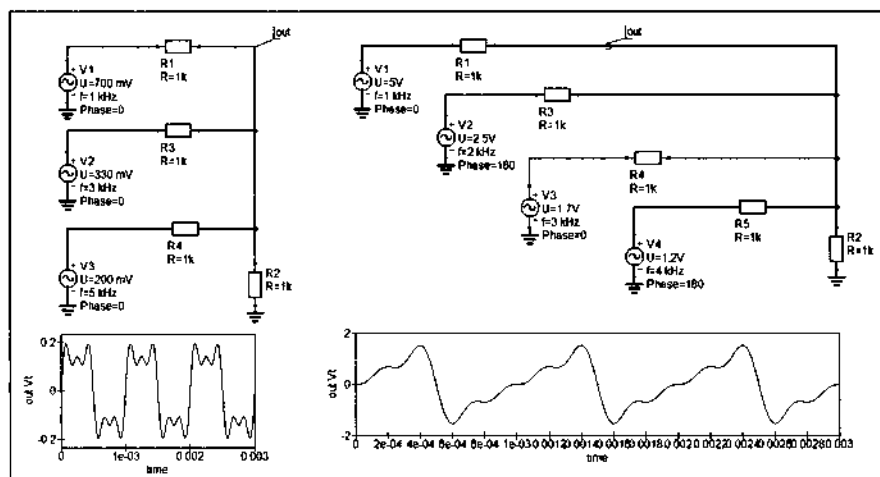


Рис. 3.12. Формирование сигналов прямоугольной и пилообразной формы

## Возвращаясь к передатчику

По возвращении можно сказать, что, конечно, реальные радиостанции имеют передатчики другой конструкции, но принцип формирования сигнала, который будет отправлен в антенну и превращен в радиосигнал, остается таким же.

Радиосигнал, пройдя километры, попадает на антенну приемника. И что дальше?

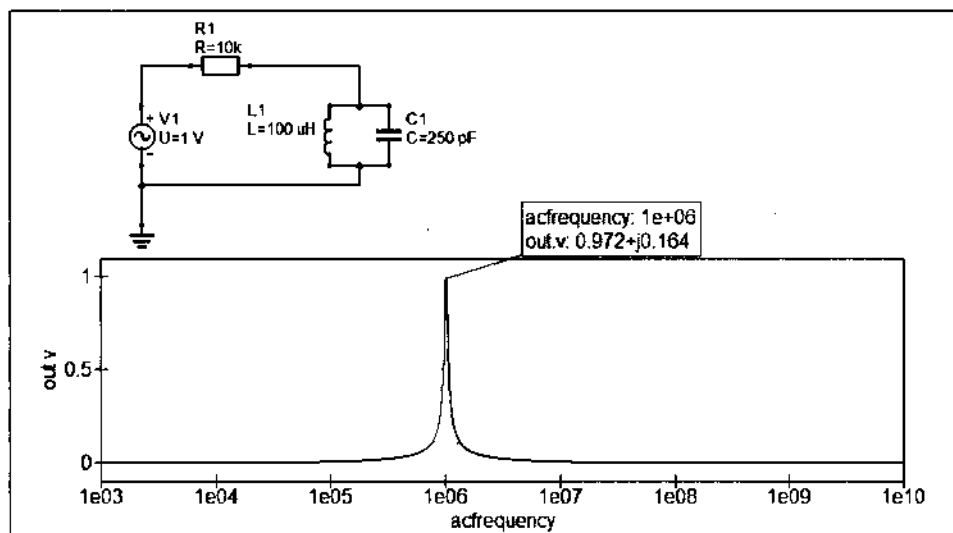
Высокочастотное напряжение в приемной антенне повторяет то, что изображено на **рис. 3.5**. Напряжение, получаемое от антенны очень небольшое. Но при мощном передатчике его можно «поймать в ловушку колебательного контура».

Радиоволна в антенне приемника вызывает движение электронов, то есть, электрический ток, закон изменения которого соответствует закону изменения несущей частоты радиоволны.

Этот переменный электрический ток на входе радиоприемника превращается в переменное напряжение, с которым в дальнейшем и происходят все преобразования.

Первым его принимает колебательный контур (**рис. 3.13**), настроенный на несущую частоту. Колебательный контур реагирует на сигнал, частота которого совпадает с частотой собственных колебаний контура.

В карманных приемниках раньше применяли переменный конденсатор для настройки на нужную частоту. В автомобильных приемниках,



**Рис. 3.13.** АЧХ параллельного колебательного контура в приемнике

не знаю, насколько часто, использовали переменную индуктивность. В современных приемниках для настройки на радиостанцию могут использовать **вариакп** — полупроводниковый диод, эквивалентная емкость которого меняется в достаточно широких пределах.

## || Что «увидела» антенна

Сигнал, полученный от антенны, очень мал. Поэтому, как правило, сигнал требует усиления. Для первых транзисторных приемников возникала проблема — входное сопротивление транзисторного усилителя на биполярном транзисторе, как мы видели невелико, порядка 2 кОм. Если подключить вход усилителя к колебательному контуру, то входное сопротивление будет шунтировать контур. Как это скажется на работе контура, избирательность которого (то, насколько резко выделяется частота настройки) может ухудшиться? Это можно проверить (рис. 3.14).

Чтобы сохранить высокую избирательность, транзисторные приемники имели индуктивно связанную катушку рядом с колебательным контуром, с которой сигнал подавали на вход усилителя (рис. 3.15).

Можно проверить, что получится с избирательностью при использовании катушки связи (рис. 3.16).

Сравнивая полученное с предыдущими результатами, можно сказать, что результат существенно лучше. Хотя в последнее время появ-

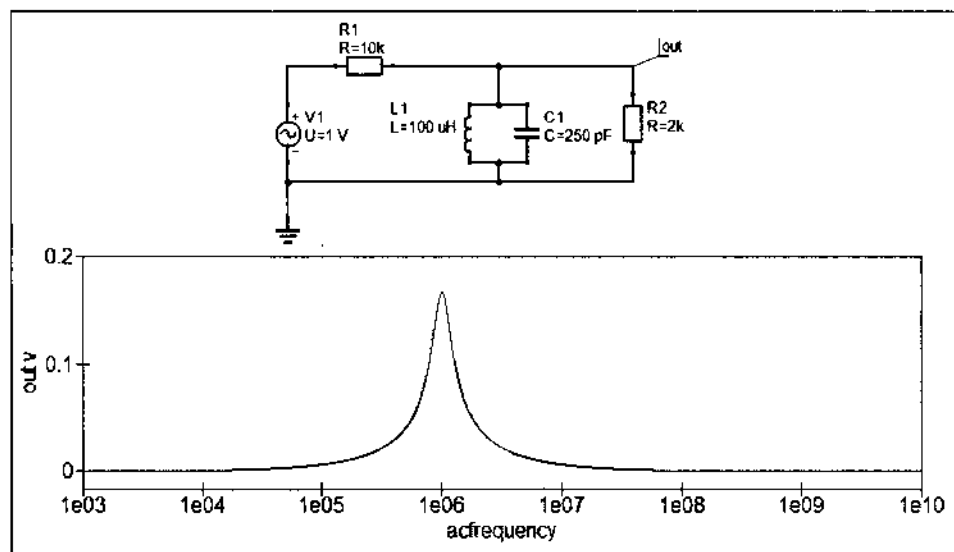


Рис. 3.14. Параллельный колебательный контур с шунтирующим резистором

вились недорогие полевые транзисторы, имеющие большое входное сопротивление, которые можно подключить непосредственно к колебательному контуру.

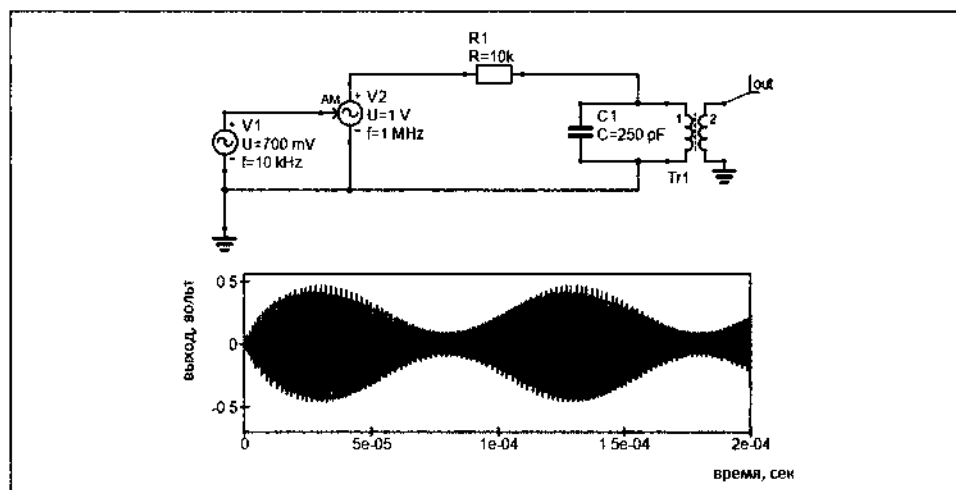


Рис. 3.15. Катушка связи для соединения колебательного контура с входом усилителя

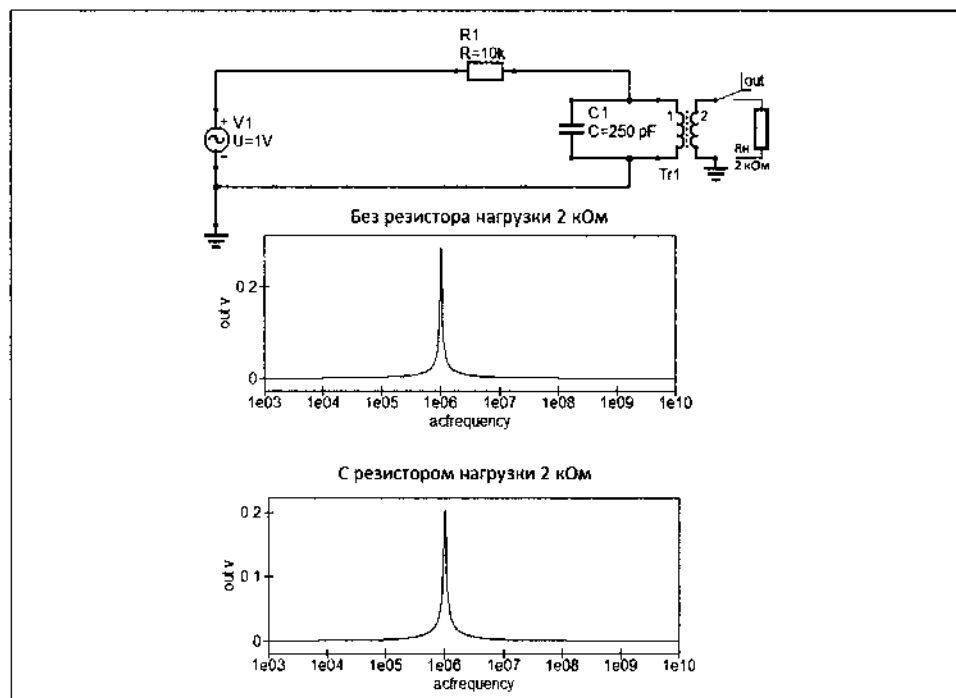


Рис. 3.16. АЧХ колебательного контура с катушкой связи

## Усиление слабого сигнала приемником

Усиление сигнала в приемнике можно осуществить несколькими основными методами. Бывают приемники прямого усиления, прямого преобразования и супергетеродинные приемники.

**Приемник прямого усиления** — это усилитель, добавленный к колебательному контуру либо однокаскадный, либо двухкаскадный.

**Радиолюбитель:** А супергетеродин — это что? Это зачем?

Начнем с рассмотрения того, зачем это нужно, поскольку, скорее всего, потребуется усложнение схемы. Итак, зачем? Сигнал радиостанции при значительном удалении от ее передающей антенны сильно затухает, становясь очень слабым. Усиления даже при двух каскадах может не хватать для детектирования несущей частоты, то есть, преобразования, которое выделяет из радиосигнала полезный сигнал информации. А увеличение каскадов усиления из-за паразитных связей может приводить к самовозбуждению усилителя. Это очень усложняет реализацию усилителя с широкой полосой пропускания (мы хотим слышать разные радиостанции).

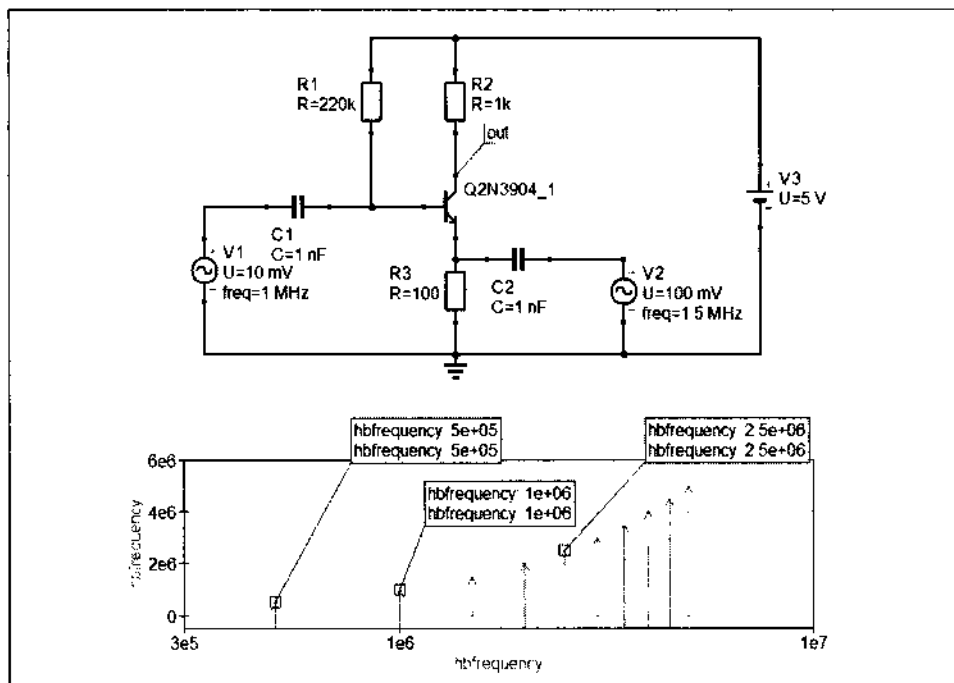


Рис. 3.17. Преобразование частоты

Поэтому поступают иначе. Сигнал от антенны усиливают, например, однокаскадным усилителем, в котором дополнительно производят преобразование несущей частоты в **промежуточную частоту**. Для разных радиостанций эта промежуточная частота остается одной и той же. А усилитель для работы с одной частотой проще сделать с хорошим усилением. Вдобавок сигнал уже усилен (на другой частоте) входным усилителем. Кроме того, можно использовать два каскада усиления промежуточной частоты.

**Радиолюбитель:** *А как происходит преобразование исходной частоты в промежуточную?*

Для ответа на этот вопрос рассмотрим такую схему (QucsStudio, рис. 3.17).

### Подробнее о преобразовании частоты

Генератор V1 представляет сигнал, пришедший от антенны, а генератор V2 настроен так, чтобы его частота была на 500 кГц выше. В спектре выходного сигнала вы можете наблюдать гармоники с частотой 500 кГц, 1 МГц, 1,5 МГц и 2,5 МГц. Благодаря нелинейности транзистора сигналы двух генераторов образуют сигналы с разностной и суммарной частотой.

Теперь в следующем каскаде усиления можно в коллекторную цепь включить LC контур, настроенный на частоту 500 кГц (рис. 3.18).

Необходимость усиления высокочастотного сигнала отчасти связано с необходимостью детектирования.

**Радиолюбитель:** *Что такое детектирование?*

Самый простой ответ — это «выпрямление» несущей частоты (рис. 3.19). К колебательному контуру добавляют диод, который «ополовинивает» несущую частоту, оставляя ее контур, который и несет информацию, без изменения.

**Нижний канал** показывает амплитудно-модулированный сигнал от генератора, а **верхний канал** показывает сигнал после детектирования.

Если сигнал слишком маленький, то детектор не справляется с выпрямлением. Так для того, чтобы полупроводниковый диод открылся, на нем должно быть падение напряжения 0,5—0,7 В, и только большее напряжение можно детектировать.

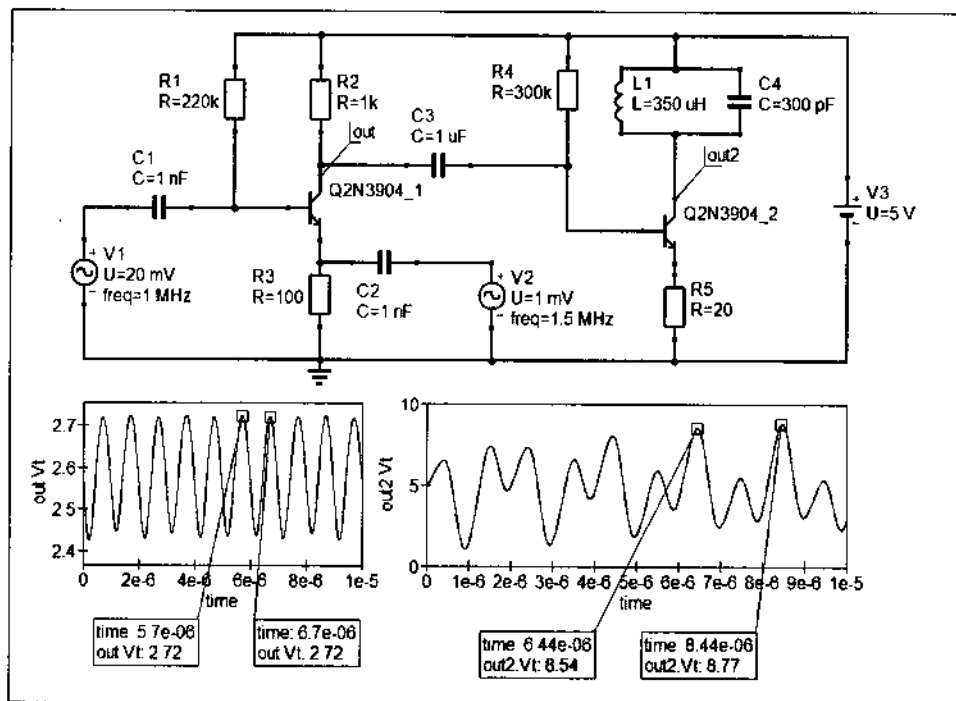


Рис. 3.18. Добавление каскада усиления промежуточной частоты

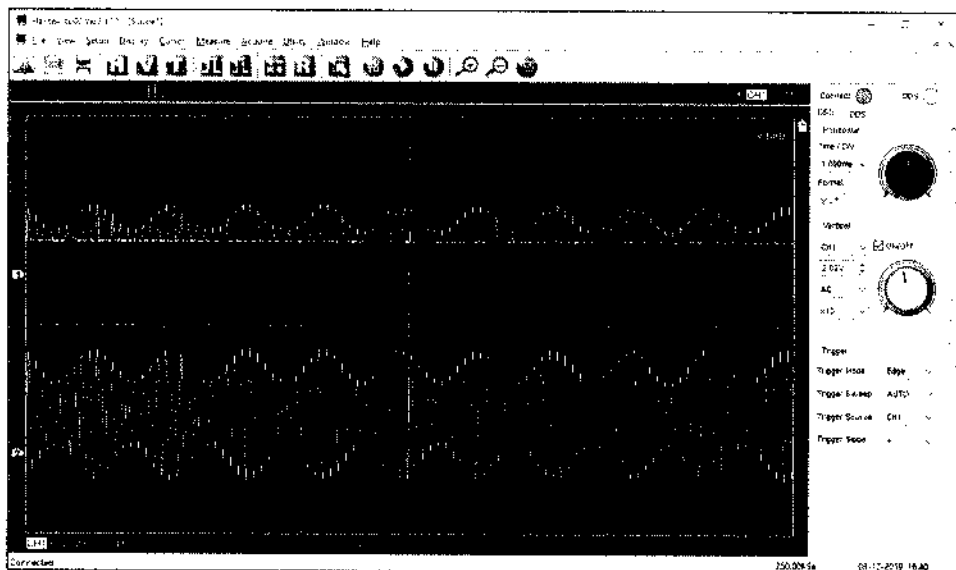


Рис. 3.19. «Выпрямление» амплитудно-модулированного сигнала на экране осциллографа

Когда-то увлечение радиоэлектроникой поддерживалось различными конструкторами, о которых сегодня вспоминают многие радиолюбители старшего поколения.



*Молодежь, попадая в магазин радиодеталей, не удивляется обилию товаров. Когда-то было иначе. Но и в те времена радиолюбителей не очень обижали. Не верите? Почитайте.*



И промышленные радиоприемники были тогда не менее желаемыми, чем сегодня iPhone.



*Сергей Буров рассказывает о ретро радиоприемнике, который и сегодня не «вышел в тираж». Это, хотя и редкость, но не исключение. Многие представители той техники служили долго.*



## Вернемся к макетированию

Обратимся к макетной плате еще раз. Попробуем провести несколько опытов в «живом виде». Первые два опыта проведем с параллельным колебательным контуром. Соберем LC-контур на беспаячной макетной плате (рис. 3.20).

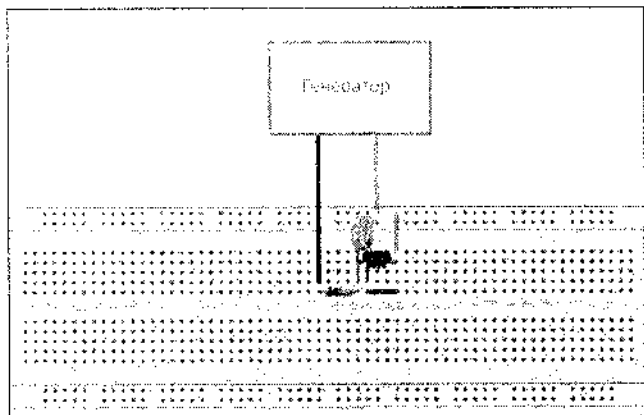


Рис. 3.20. Макет для наблюдения за собственными колебаниями



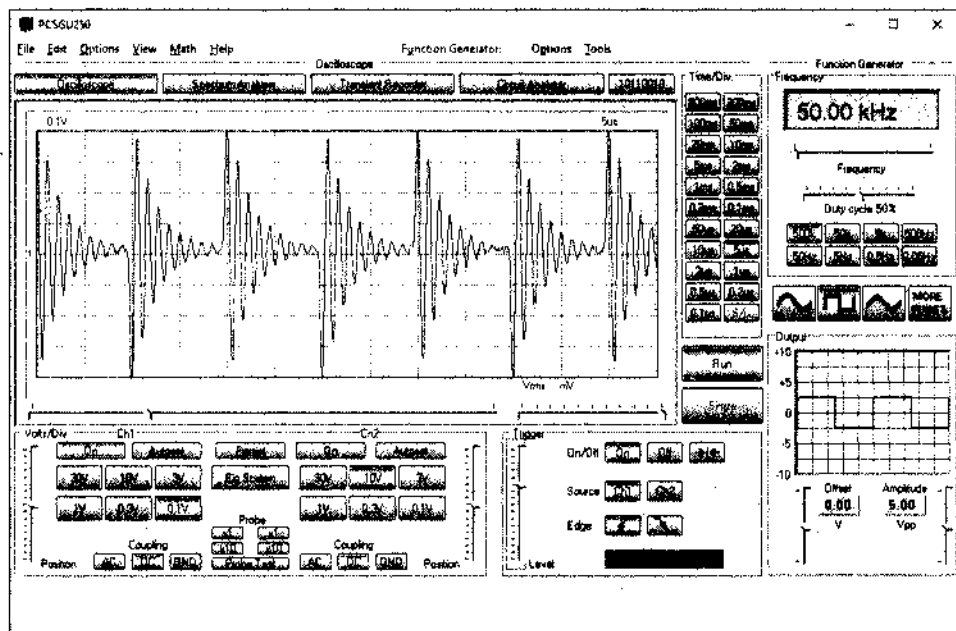


Рис. 3.21. Вид собственных колебаний на частоте резонанса

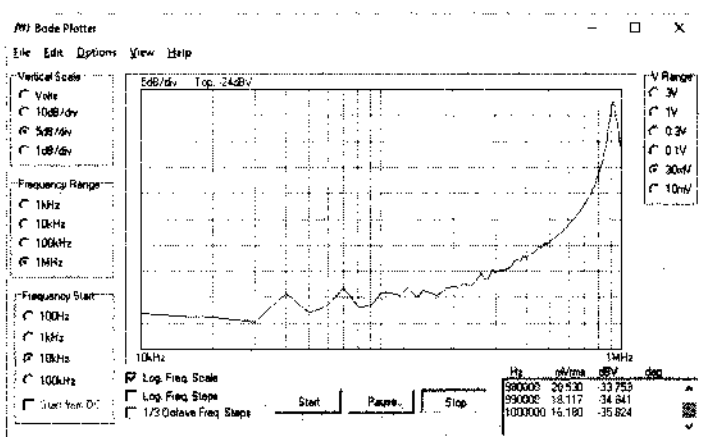


Рис. 3.22. АЧХ колебательного контура

Этот макет соответствует схеме на рис. 3.16. Но в силу ряда причин индуктивность катушки будет 250 мкГн, а емкость конденсатора 100 пФ. Первый сигнал от генератора мы настроим так: прямоугольные импульсы амплитудой 2,5 В и частотой 50 кГц (рис. 3.21).

А теперь посмотрим на амплитудно-частотную характеристику колебательного контура (рис. 3.22).

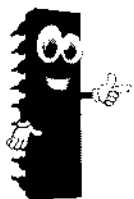
Соппротивление было увеличено до 100 кОм, а АЧХ реального контура получилась хуже, чем при моделировании. Возможная причина в том, что я использовал в качестве катушки индуктивности дроссель, из-за чего добротность контура могла оказаться меньше. Вдобавок частота 1 МГц оказалась на краю доступного сейчас для меня диапазона частот. Но пик выражен достаточно хорошо.

И еще я подумал, отчего бы не повторить на макетной плате (рис. 3.23), уж коли проводить макетные эксперименты, отчего бы не повторить детектирование малого сигнала, а не сигнала с амплитудой больше вольта, как изображено на рис. 3.19.

И еще хотелось бы посмотреть, появится ли в спектре промежуточная частота, если один из генераторов будет работать на частоте 1 МГц, а другой на частоте 1,5 МГц. Это повторение моделирования, показанного на рис. 3.17.

Правда, так получилось (рис. 3.24), детектирование было проведено без конденсатора, показанного на рис. 3.17. Над результатом, наверное, следует подумать. Или нет?

Промежуточная частота 500 кГц, отмеченная маркером, не столь заметна, как два пика с частотой 1 МГц и 1,5 МГц. Что означает — не все продумано хорошо, и, вероятно, предстоит еще над этим поработать. Возможно, следует лучше подобрать рабочую точку.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Кроме амплитудной модуляции несущей частоты существуют и другие виды модуляции, например, частотная или фазовая модуляция. Но они не столь наглядны, хотя в последнее время частотно-модулированное радиовещание почти вытеснило амплитудно-модулированное.

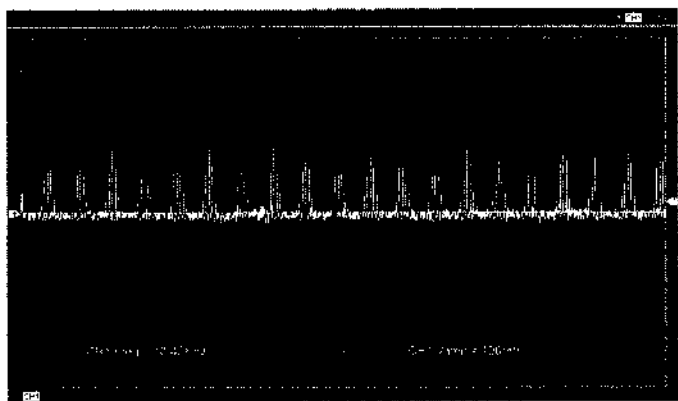


Рис. 3.23. Детектирование амплитудно-модулированного малого сигнала

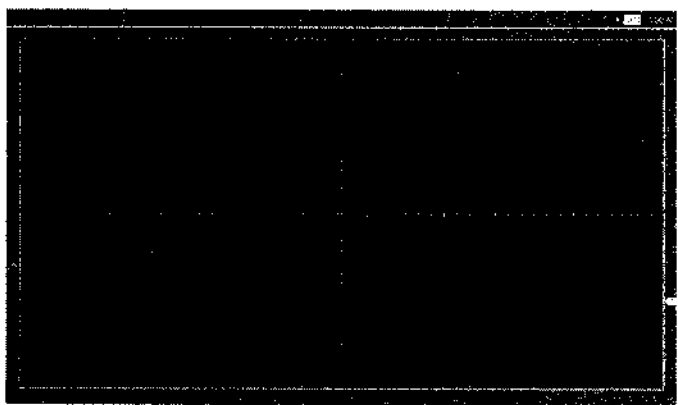


Рис. 3.24. Получение промежуточной частоты от двух генераторов

## || Частотно-модулированный сигнал

Возьмем конденсаторный микрофон, который устроен так, что конденсатор имеет одну неподвижную пластину, а вторая пластина колеблется под действием голоса диктора, повторяя изменения давления. Если такой микрофон использовать вместо конденсатора в колебательном контуре задающего генератора, то станет понятно, как изменяется частота несущего сигнала (рис. 1.8).

**Радиоловитель:** *Но почему «сначала была амплитудная модуляция»?*

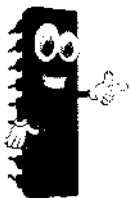
Генерация высокочастотных сигналов достаточно большой мощности была не самой простой задачей, которую в первое время удалось решить на частотах порядка 150—300 кГц. Вдобавок радиоволна, кроме частоты, имеет еще и длину волны. Длинноволновые электромагнитные излучения имеют свойство огибать поверхность Земли, то есть, легче добраться до отдаленных слушателей. А более короткие волны распространяются прямолинейно.

**Радиоловитель:** *Если так, то зачем отказываться от амплитудной модуляции?*

В первую очередь, есть проблема с размещением большого количества радиостанций в заданном диапазоне частот. Если бы радиостанция, вещающая на частоте 100 кГц, занимала только частоту 100 кГц, то следующая радиостанция могла бы вещать на частоте 101 кГц и т. д. Но было бы хорошо, еще не означает, что так оно и есть. Любая радиостанция, работающая на частоте 100 кГц, занимает полосу частот, кото-

рая зависит от полосы частот информационного сигнала. Когда радиостанции передавали речь диктора (300—3000 Гц) и не более того, полоса частот, занимаемая радиостанцией, была приемлема.

Скажем, при передаче речи полоса частот при несущей частоте 100 кГц составит 97—103 кГц. Но очень быстро в радиопередачах появилась музыка, а ее полоса частот от 30 Гц до 15 кГц. И теперь радиостанция займет полосу уже 90—110 кГц, а качество музыкальной передачи будет еще недостаточно хорошим.

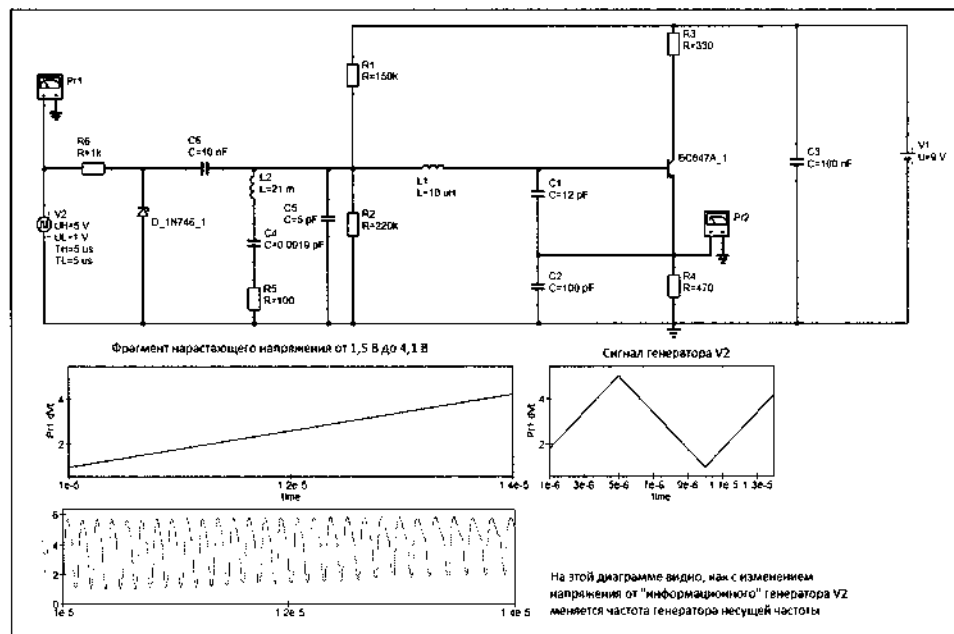


### ПРИМЕЧАНИЕ.

*По этой причине радиоэлектронике пришлось осваивать более высокие частоты, где применение частотной модуляции вполне оправдано.*

И еще, для музыки важно передать не только всю полосу частот, но и динамический диапазон звуков. У частотной модуляции есть определенные преимущества и в этом плане. Чтобы получить представление о частотной модуляции сигнала, проведем такой «мысленный опыт» (рис. 3.25).

На **правом графике** показан треугольный сигнал источника V2. На верхней диаграмме выделен участок этого сигнала. Под ней сигнал генератора, где видно, как изменяется частота с ростом напряжения на



**Рис. 3.25.** Модуляция несущей частоты генератора источником треугольных импульсов

элементе 1N746. Что это за элемент в нашем эксперименте, мне хотелось бы рассмотреть позже, но появилось одно «НО». И мне не хотелось бы убирать все детали с макетной платы, убирать плату и приборы, чтобы потом собирать все еще раз.

## Изменение частоты генерации

Схему с изменением частоты генерации с помощью варикапа (диодного конденсатора переменной емкости) мне предложил моделировать мой знакомый. Он же показал пример использования стабилитрона в качестве варикапа. Попытка повторить моделирование с помощью варикапа у меня не получилась, тогда как со стабилитроном (рис. 3.25) моделирование получилось. Видно, что с ростом напряжения на входе стабилитрона, точнее с ростом тока через стабилитрон, частота генератора меняется (особенно заметно в конце осциллограммы).

**Радиолюбитель:** *И что здесь странного?*

Если заглянуть в описание варикапа, например, BBY40, то можно прочитать, что емкость при напряжении 3 В около 30 пФ, а при напряжении 25 В емкость будет около 5 пФ. То есть, при нарастании напряжения от генератора треугольного напряжения я бы ожидал увеличение частоты генератора, а не уменьшение, что показало моделирование.

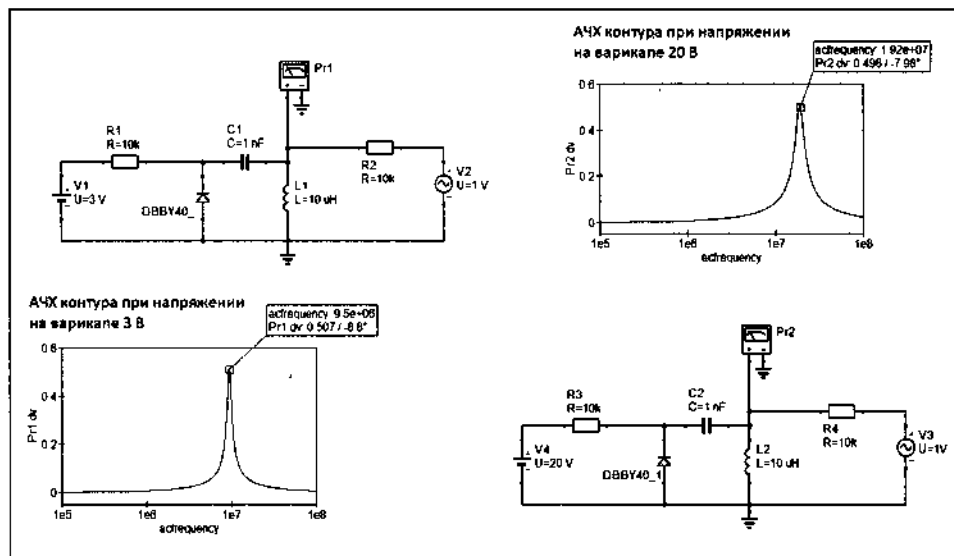


Рис. 3.26. Моделирование колебательного контура с варикапом

Первая мысль была о влиянии сопротивления стабилитрона, но замена стабилитрона резистором этого эффекта не выявила.

Другая идея проста — моделировать колебательный контур, к которому подключен варикап или стабилитрон, напряжение на которых меняется. И результаты моделирования не заставили себя ждать (рис. 3.26, рис. 3.27).

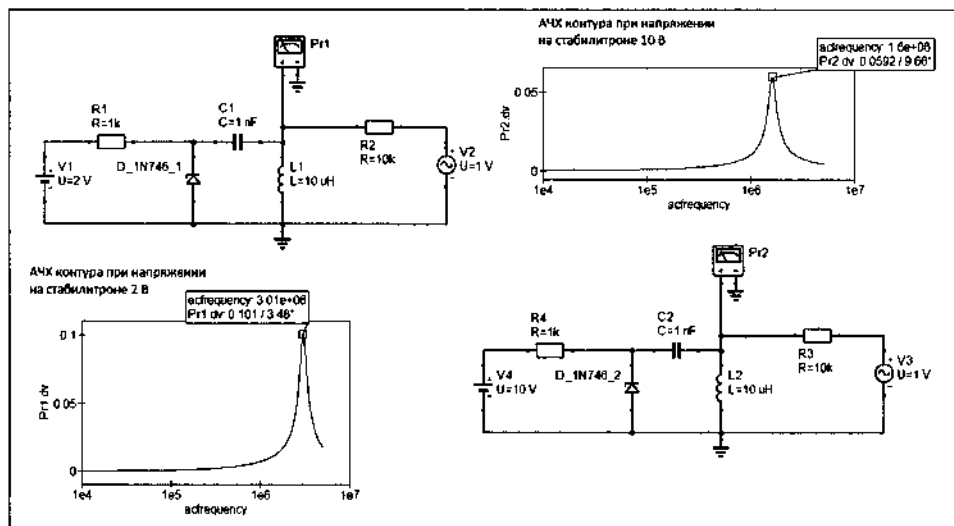


Рис. 3.27. Моделирование колебательного контура со стабилитроном

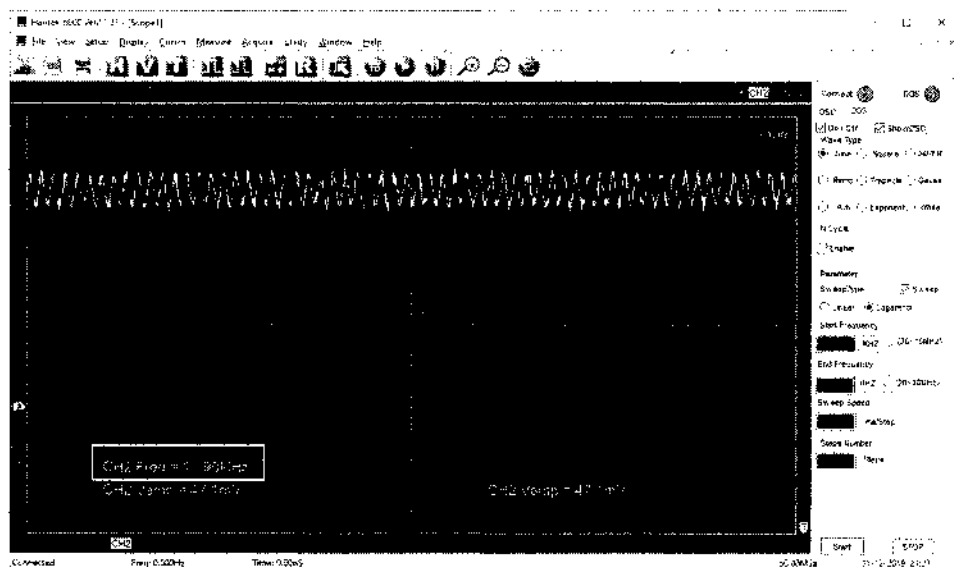


Рис. 3.28. Частота резонанса со стабилитроном KC156A при токе 3,4 мА

И пока не остыла макетная плата, повторим опыты со стабилитроном (рис. 3.28, рис. 3.29). В данном случае моделирование не подвело.

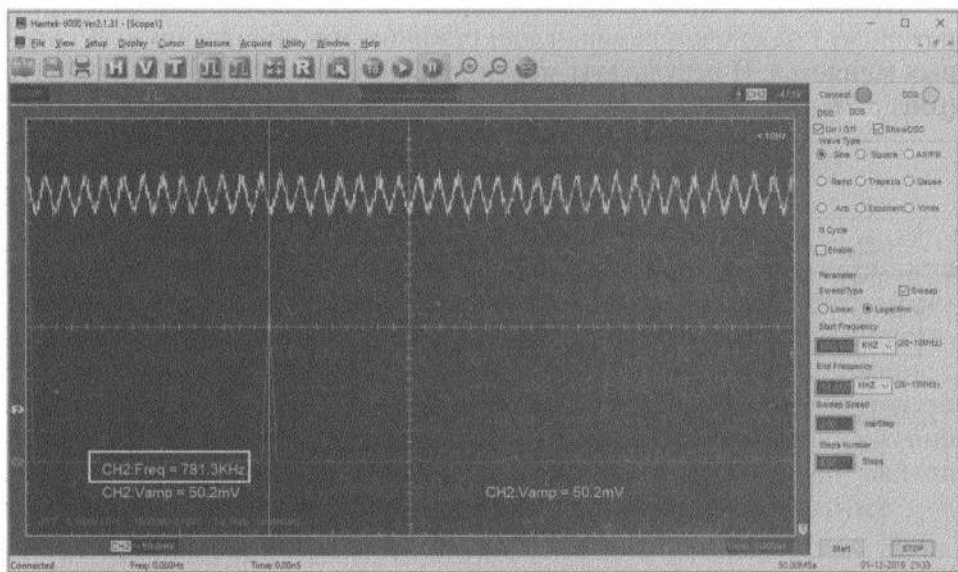


Рис. 3.29. Частота резонанса со стабилитроном КС156А при токе 6,8 мА

## Телевизионный сигнал из близкого прошлого

Если задачу перенести на расстояние, звуковой сигнал можно было решить созданием несущей частоты, то для передачи телевизионной информации этого оказалось недостаточно. Посмотрим, как создается информационный сигнал в аналоговом вещании.

Все знают, что кинофильм — это последовательный показ кадра за кадром на киноплёнке. При определенной скорости смены кадров мы не замечаем, что каждый из кадров представляет собой просто фотографию.

Теперь представим, что каждый из кадров мы сканируем лучом, который перемещается от одного края этой фотографии к другому краю. Достигнув его, луч смещается, положим, немного ниже, чтобы повторить перемещение от края до края. И так повторяется до тех пор, пока не будет просканирован весь кадр.

Подобная процедура даст нам информацию об изображении на фотографии (в кадре). Эту информацию мы можем передать в эфир, как это делали с голосом диктора. Нужно будет только добавить сигналы окончания одной строки и перехода к другой строке. Мы можем отправить в эфир фотографию. Если бы это было нам нужно!

После добавления сигнала об окончании сканирования кадра мы добавим еще один сигнал, после чего можно повторить сканирование следующего кадра. Так, кадр за кадром мы отсканируем весь фильм. Теперь его можно отправить в эфир и телевизионный приемник воспроизведет на экране немое кино. Кстати, многие шедевры немого кино актуальны и по сей день, согласитесь!

**Радиоловитель:** *А диктора в телевизионной студии тоже снимали на пленку?*

Нет, конечно. Говоря о сканировании, я предложил простую модель: луч света перемещается по кадру кинопленки, а на противоположной стороне фотоприемник создает сигнал, отмечая, положим, низким напряжением темные участки, а большим напряжением более светлые участки.

В реальности работала передающая телевизионная трубка. Я сам ее в руках не держал, поэтому предлагаю прочитать о ней в Википедии.



Как и другие ссылки, эта не связана напрямую с рассказом, но, если у вас будет возможность, вы можете узнать много интересного про ортрон из этой небольшой статьи.



## Частотная модуляция и телевидение

Ко времени широкого распространения телевидения радиовещание использовало частотную модуляцию сигнала, чтобы улучшить качество звука. Поэтому и телевидение использовало частотную модуляцию для передачи звука телевизионного сигнала.

В итоге телевизор принимал сложный сигнал, где изображение формировалось с помощью амплитудной модуляции видео ряда, сопровождаемого синхроимпульсами, а звук передавали на другой частоте с помощью частотной модуляции.

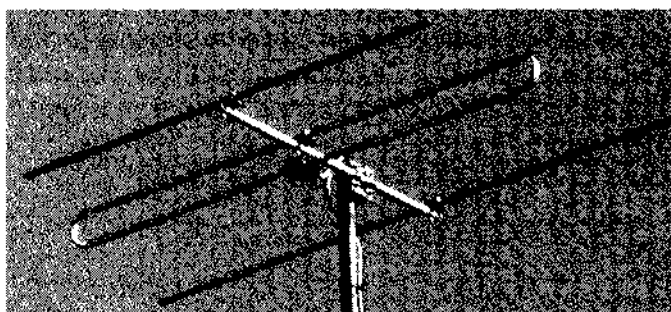
Для успешного приема телевизионного сигнала стали применять более сложные антенны, чем это было когда-то, когда радиопередачи вели на длинных волнах. Мои сверстники, наверное, помнят комнатные антенны — «усы», где для приема разных программ использовали разную длину этих усов (рис. 3.30).

Но успешно принимать сигнал на такую антенну можно было только тогда, когда передающая телевизионная станция находилась





*Рис. 3.30. Комнатная антенна*



*Рис. 3.31. Наружная телевизионная антенна*

неподалеку, а высокие здания не перекрывали сигнал. Поэтому предпочтительнее было пользоваться антенной, расположенной на крыше дома, что реализовалось в каждом городе, а за пределами городов действовало по принципу «спасения утопающих».

Коллективная антенна была устроена так, чтобы принимать все вещательные каналы, благо их в те времена было немного. Наиболее распространенный тип антенны назывался «волновой канал», но применяли антенны и других типов (рис. 3.31).



*О том, какие типы телевизионных антенн применялись и применяются, и чем они различаются, вы можете прочитать в Википедии, чтобы расширить свой кругозор в этой области.*



Если для приема сигнала на детекторный приемник было достаточно поднять повыше две стойки, натянуть между ними провод, конец которого опустить к приемному контуру, то для передачи сигнала от телевизионной антенны к телевизору потребовалось использовать более сложную линию передачи сигнала, **фидер**. Его основная задача состоит в передаче максимальной мощности сигнала от антенны к приемнику. И здесь важную роль играет согласование волнового сопротивления фидера и антенны, фидера и приемника.

## Волновое сопротивление кабеля

Бытовой телевизионный кабель имеет волновое сопротивление 75 Ом. Почему важно, чтобы все соединители и входное сопротивление усилителя высокой частоты телевизора имели такое же сопротивление, можно показать при моделировании (рис. 3.32).

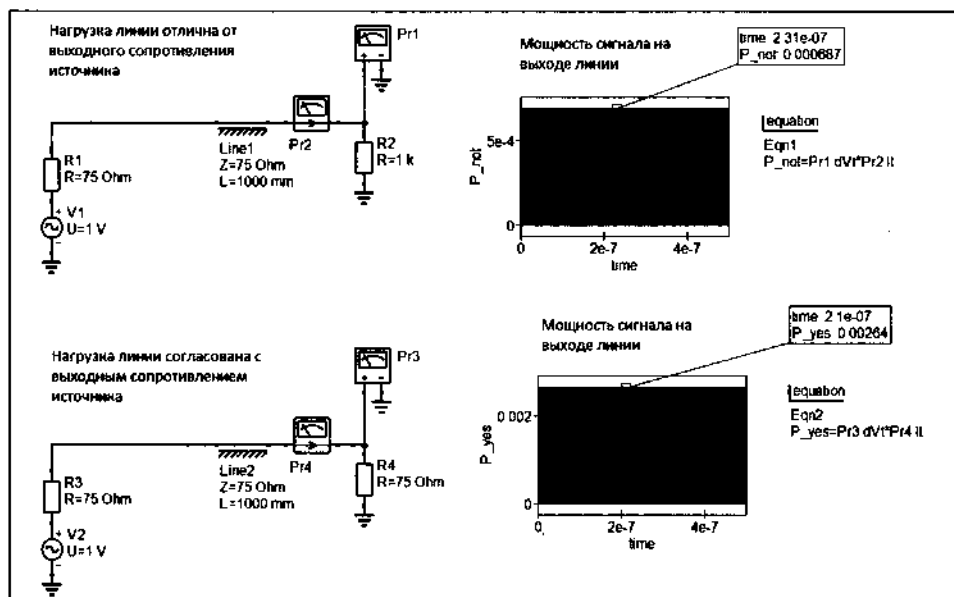


Рис. 3.32. Моделирование линии передачи при несогласованной и согласованной нагрузке

А еще вспомним то, что мы говорили о малосигнальных параметрах в Главе 1. S-параметры хорошо описывают поведение сигнала при согласованной линии и несогласованной ее «подруге». В частности, параметр  $S_{11}$  описывает отражение сигнала от входа. Если отражение будет сильным, вы на телевизоре увидите вторую картинку, которая не будет совмещена с первой. Хотя S-параметры обычно наблюдают на диаграммах Смита или аналогичных, но получить представление об этом позволит такой эксперимент (рис. 3.33).

Линии передачи в современных устройствах СВЧ могут появиться на печатной плате, что имеет большое значение при разработке печатной платы.

Телевизионный сигнал от антенны приходит по коаксиальному кабелю к антенному входу телевизора, затем на широкополосный усилитель высокой частоты. Сигнал на антенном входе небольшой, его

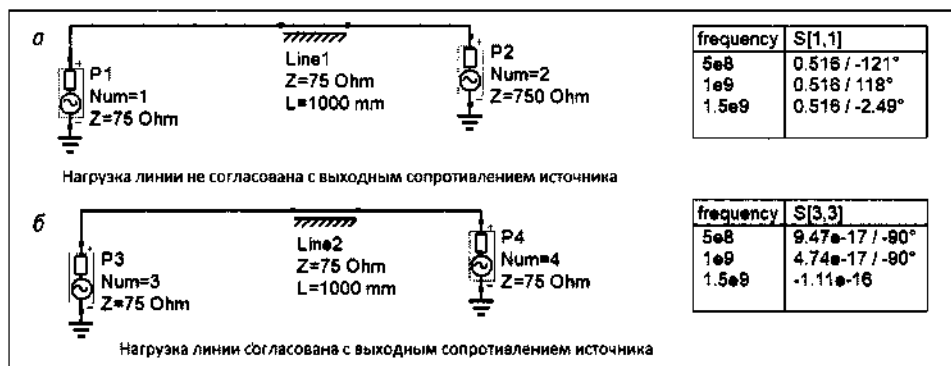


Рис. 3.33. Сравнение коэффициентов отражения (S-параметров) в согласованной (б) и нет (а) линии передачи

нужно усилить, но для разных телевизоров — одни из них близко от передатчика, другие далеко от него — для всех телевизоров желательно на выходе усилителя иметь одинаковый сигнал, поэтому применяют автоматическую регулировку усиления.

После усилителя телевизионный сигнал поступает на селектор каналов (переключатель программ). Когда-то это был барабан с элементами входных контуров и элементами гетеродина, позже стали применять электронную настройку. Но преобразование частоты осуществлялось так же, как в супергетеродинных радиоприемниках. Однако промежуточных частот получается две, например, для изображения промежуточная частота 38 МГц, а для звука 31,5 МГц.

После детектирования сигнал изображения обрабатывается блоками строчной и кадровой развертки, управляя электронным лучом телевизионной трубки. А звуковой сигнал после детектирования поступает на усилитель звуковой частоты.

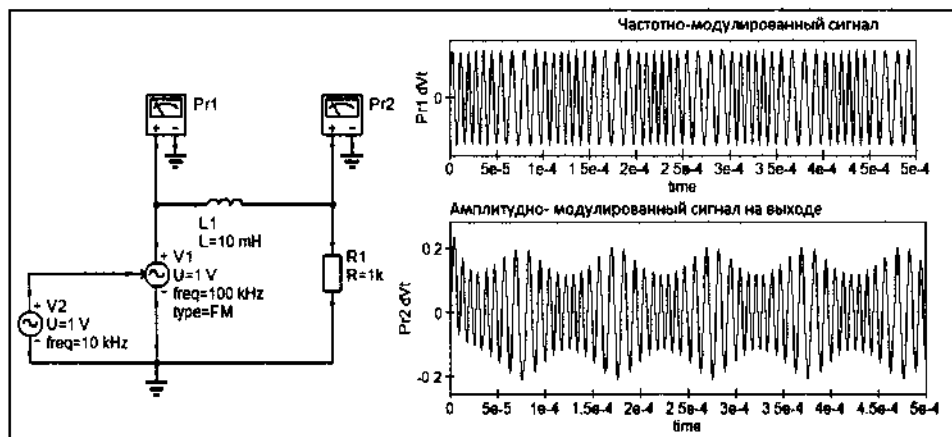


Рис. 3.34. Подготовка к детектированию частотно-модулированного сигнала

Кстати, как детектируется амплитудно-модулированный сигнал, мы видели. Посмотрим, как это можно сделать в простейшем варианте для частотно-модулированного сигнала (**рис. 3.34**).

Сигнал на резисторе нагрузки R1 из частотно-модулированного превратился в амплитудно-модулированный, который можно превратить в звуковой так же, как это делал детекторный приемник.

## Другие виды модуляции несущей частоты

Цифровые микросхемы были созданы для реализации математических операций с числами в двоичном виде. Для чисел безразлично, десятичная или двоичная система используется при операциях с ними. А для нас возможность использовать только два значения «0» и «1» при работе с сигналами очень существенна. Так цифра «0» может быть представлена нулевым (или близким к нему) напряжением, а «1», например, напряжением 5 В. Такое представление очень хорошо защищено от помех и шумов, от которых так страдают аналоговые сигналы.

**Радиолобитель:** *Положим, мне понятно сложение и вычитание двоичных чисел, но причем здесь вещание?*

Рассмотрим такой **эксперимент**. Есть два генератора:

- ♦ генератор синусоидального сигнала;
- ♦ генератор пилообразного напряжения.

К выходам этих генераторов подключен **компаратор**. Когда пилообразное напряжение в какой-то момент достигает величины синусоидального напряжения, компаратор срабатывает, фиксируя этот факт.

Генератор синусоидального сигнала представляет некоторый исходный сигнал, который на практике может оказаться очень сложным, но это не повлияет на окончательный результат (**рис. 3.35**).

Если мы знаем, какого напряжения достигает сигнал эталонного генератора пилообразного напряжения в момент срабатывания компаратора, то мы можем точно сказать, какое значение в этот момент имеет испытываемый синусоидальный сигнал. При достаточном количестве измерений значений синусоидального сигнала, мы можем хранить эти замеры в виде чисел. А позже, используя эти данные, восстановить вид синусоидального сигнала. Этот факт был установлен математически.

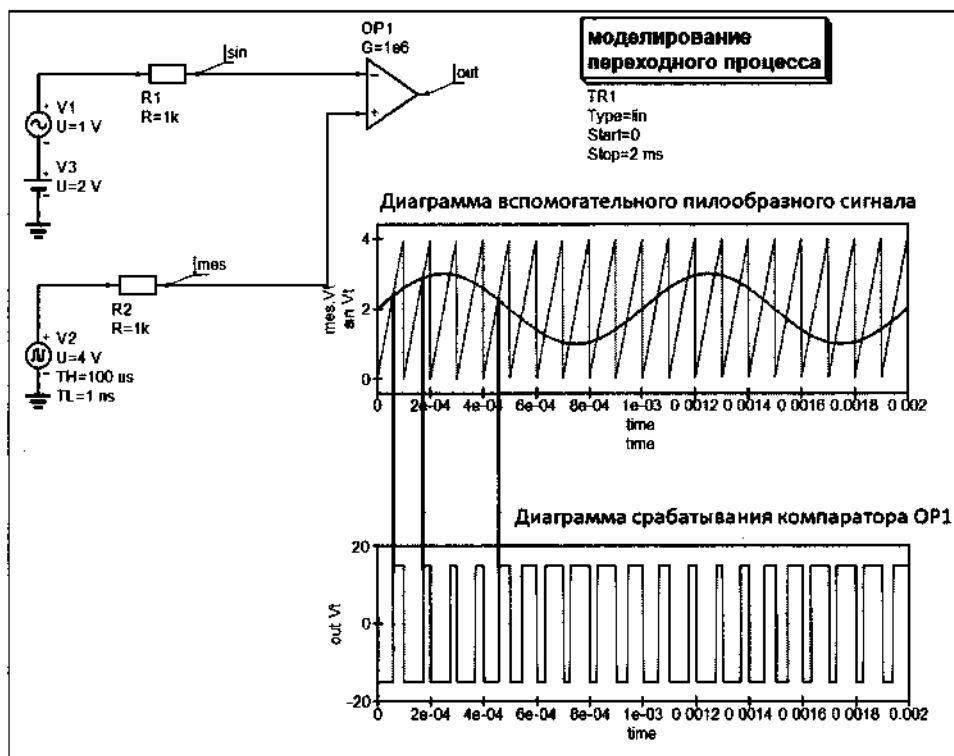


Рис. 3.35. Эксперимент с двумя генераторами

**ЭТО ВАЖНО.**

Для воссоздания сложного непрерывного сигнала не обязательно знать бесконечное количество данных на некотором временном интервале, достаточно знать ограниченное количество значений измерения.

**Радиолюбитель:** Как мы можем контролировать напряжение генератора пилообразного напряжения в любой момент времени?

## Представление сигнала ступенчатым напряжением

А мы будем использовать представление сигнала пилообразного напряжения **ступенчатым напряжением**. Выше мы видели, что несколько генераторов синусоидального напряжения могут формиро-

вать напряжение очень похожее на пилообразное. Если бы мы использовали генераторы прямоугольных импульсов, то получили бы ступенчатое приближение пилообразного сигнала.

Для получения ступенчатого напряжения не обязательно использовать несколько генераторов прямоугольных импульсов, есть другие способы. Важно, что, уменьшая время каждой ступеньки, увеличивая количество этих ступенек, мы получим напряжение, которое своим видом не будет отличаться от пилообразного напряжения.

Вместе с тем, благодаря равным интервалам времени и равным ступенькам напряжения; благодаря тому, что мы знаем максимальное значение напряжения ступенчатого напряжения, мы знаем величину напряжения, за которое отвечает каждая из ступенек (рис. 3.36).

Таким образом, нам остается только подсчитать количество ступенек до момента срабатывания компаратора.

Этому может помочь цифровой счетчик. Если генератор, который формирует равные интервалы времени для каждой из ступенек, подключить к счетчику импульсов, а этот счетчик останавливать тогда, когда срабатывает компаратор, то на выходе счетчика мы получим цифровое значение, которое можно легко пересчитать в напряжение.

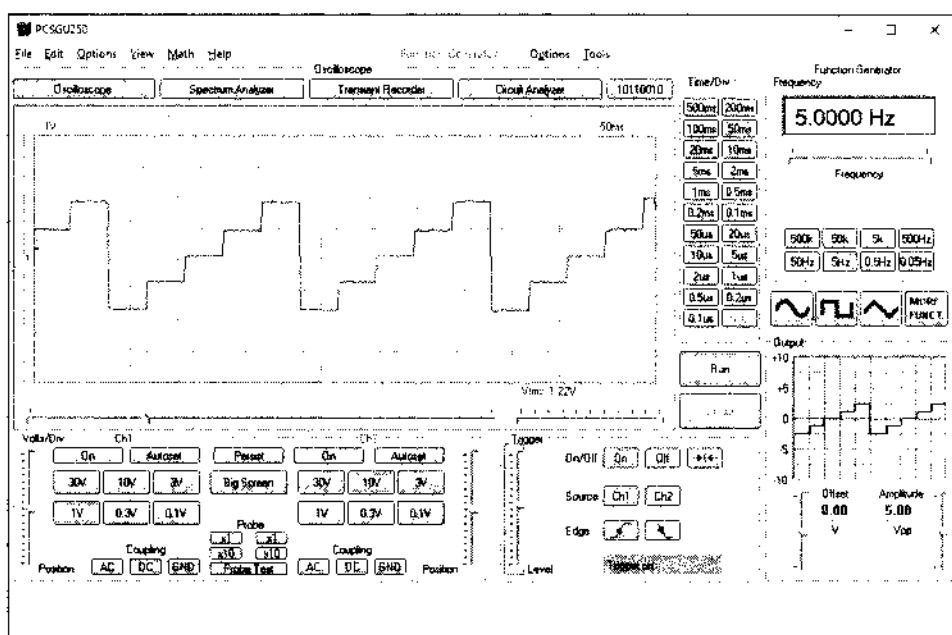


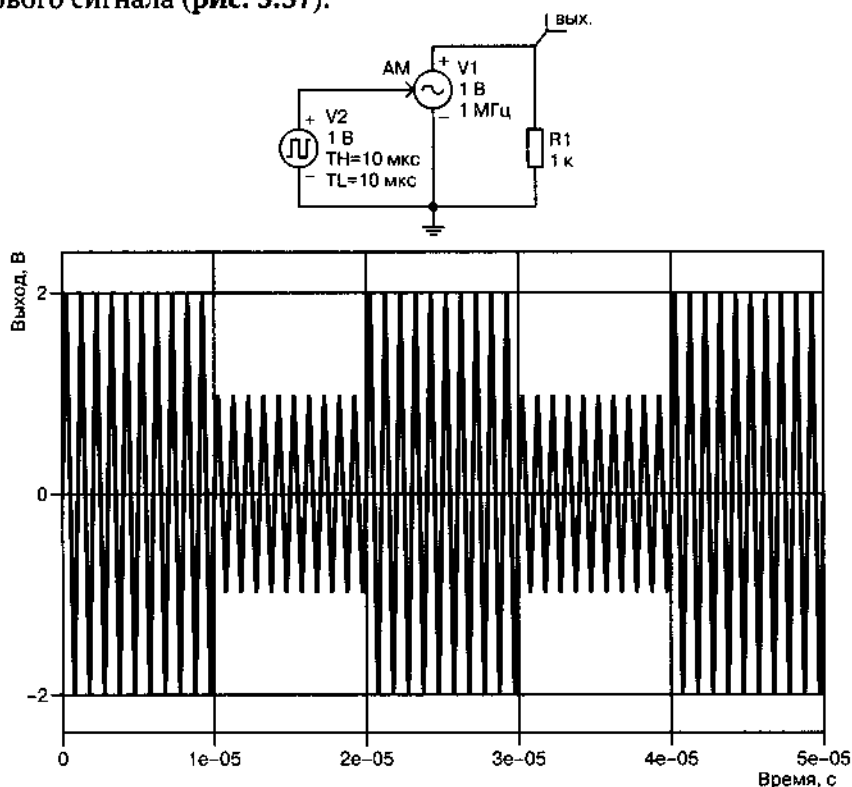
Рис. 3.36. Сигнал генератора ступенчатого напряжения

## Устройство преобразования сигнала в цифровую форму

Устройство, которое осуществляет такое преобразование, называется **аналого-цифровой преобразователь** или **АЦП**. Этот преобразователь оцифровывает аналоговый сигнал, превращая его в набор двоичных чисел. Мы использовали синусоидальное напряжение, но только потому, что это нагляднее, чем сигналы более сложной формы. Используя АЦП, достаточно быстрый для преобразования звуковых напряжений, мы можем оцифровать и речь, и музыку. Это, кстати, делает ваша звуковая карта.

**Радиолюбитель:** Мы получили цифровые данные, что дальше?

Дальше все просто. Мы можем использовать любые виды модуляции для превращения информации в радиосигнал. Цифровой сигнал мы можем имитировать сигналом прямоугольной формы, чтобы получить представление о том, как выглядит амплитудная модуляция цифрового сигнала (**рис. 3.37**).



**Рис. 3.37.** Амплитудно-модулированный сигнал прямоугольной формы

Хотя это, видимо, не получится наблюдать с помощью радиоловительской аппаратуры, однако сигнал, формируемый передатчиком пары передатчик-приемник на 433 МГц, должен быть похож на этот. Но с помощью этого модуля мы можем предавать данные. Например, мы можем подключить вход модуля к выходу USART микроконтроллера и отправлять через него любые числа. И это еще не все.

### SSB: SingleSideBand, || модуляция с одной боковой полосой ||

Вспомним, как выглядит амплитудно-модулированный сигнал (рис. 3.5). Оба контура (и верхний, и нижний) повторяют форму информационного сигнала. То есть, по сути, одна половина АМ-сигнала не нужна. Более того, вся средняя часть, образованная несущей частотой, тоже лишняя. Обрезав лишнее в сигнале (рис. 3.38), мы сэкономим энергию передатчика.

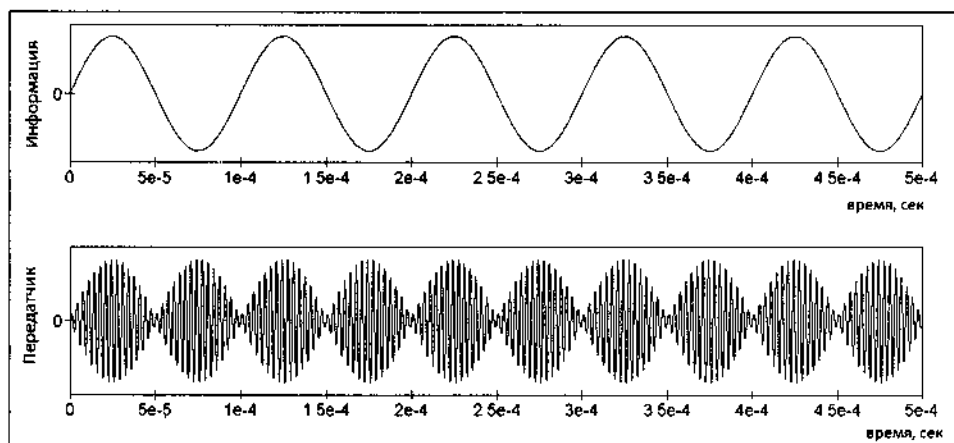


Рис. 3.38. Сигнал с одной боковой полосой

При такой передаче одной боковой полосы удастся сэкономить в 10–12 раз энергию, кроме того, полоса частот, занимаемая передающей станцией, сужается. Что можно проверить, пока программа QucsStudio работает (рис. 3.39).

**Радиоловитель:** Как мы экономим энергию?

На рис. 3.38 информационный сигнал формирует генератор синусоидального сигнала. Но представим, что информация — это голос дик-



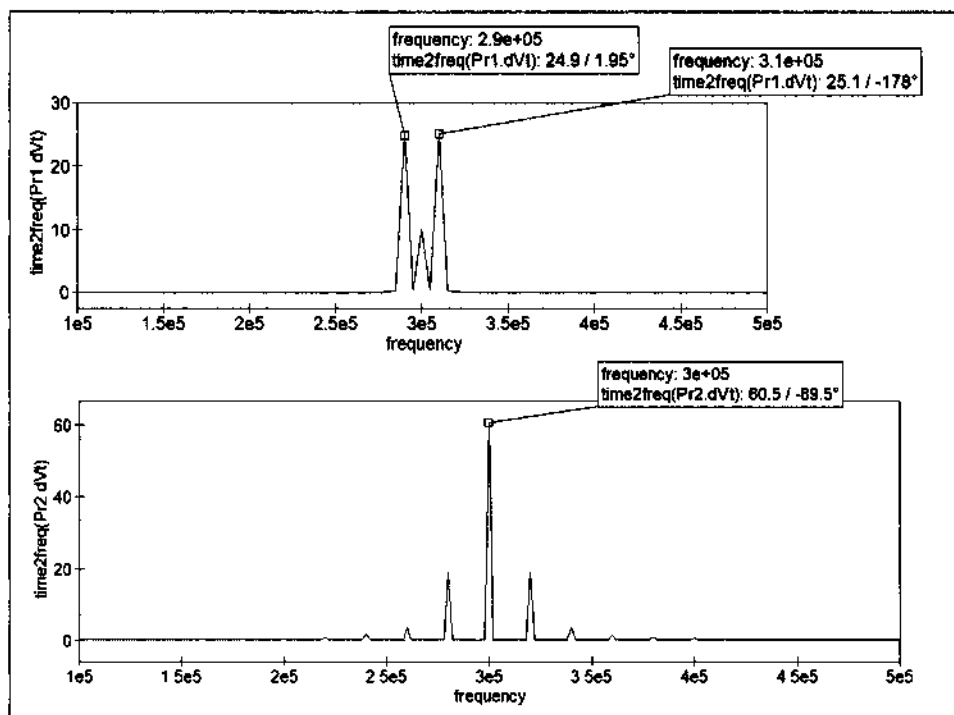
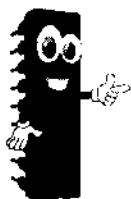


Рис. 3.39. Сравнение спектров сигналов при AM и SSB модуляции

тора. А диктор делает паузы. В паузе нет несущей частоты, то есть, передатчик «отдыхает».



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Существуют и другие виды однополосной передачи, которые еще более экономичны.

## SDR приемник, или без компьютера никуда

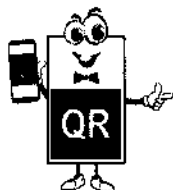
Радиолюбительская связь с момента возникновения развивалась и совершенствовалась в ногу с развитием радиоэлектроники и электроники. Регулярно проходят и местные, и региональные, и международные соревнования радиолюбителей. И появление компьютеров не могло остаться незамеченным. Аббревиатура SDR расшифровывается просто — Software-Defined-Radio. То есть, программа на компьютере

может использоваться как для модуляции, так и для демодуляции радиосигнала.

Как уверяют опытные радиолюбители, самым простым решением могло бы быть подключение к антенне аналого-цифрового преобразователя, данные которого обрабатываются компьютером, а вы получаете результат в громкоговорителях, скажем, ноутбука. Но есть проблемы в таком простом решении, которые приходится преодолевать. Простой приемник может иметь аналоговую часть, выполненную методом **прямого преобразования**.

**Радиолюбитель:** *Что такое прямое преобразование?*

Мы говорили о супергетеродинном приемнике, где радиосигнал смешивается с сигналом дополнительного генератора так, чтобы получилась промежуточная частота. Если эта промежуточная частота равна нулю, то такой метод обработки радиосигнала называют **прямым преобразованием**.



*Это ссылка на подробный рассказ о реальной схеме приемника прямого преобразования. В статье есть ссылка и на первоисточник, но для первого знакомства этого достаточно.*



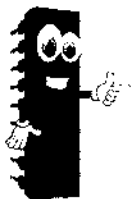
Я процитирую автора одной из статей в Интернете:

*Главным и определяющим основные качественные показатели приемника прямого преобразования (ППП) является динамический диапазон по перекрестным помехам DD2, который равен коэффициенту подавления амплитудной модуляции с нижней границей равной внутренним шумам приемника, приведенными ко входу.*

*Перекрестные помехи возникают из-за наличия квадратичных членов в вольтамперных характеристиках нелинейных элементов смесителя. Поэтому эти помехи пропорциональны квадрату входного напряжения и вызываются прямым детектированием входного сигнала смесителя на нелинейностях смесителя.*

*Применение балансной схемы смесителя с использованием быстродействующих ключей, управляемых меандром с малой длительностью фронтов, сводит к минимуму время нахождения элементов смесителя в существенно нелинейном переходном состоянии.*

Автор говорит о **балансной схеме смесителя**.

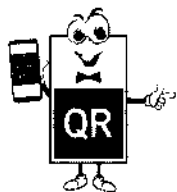


### ПРИЗОВЕМ НА ПОМОЩЬ ПК.

*Моделируем схему балансного смесителя.*

Начнем с умножителя. В программе есть операционный компонент, который готов выполнить умножение частот двух генераторов (рис. 3.40).

Здесь и ниже я воспользуюсь результатом работы моего доброго знакомого Gunthard Kraus (DG8GB), который раскрыл мне глаза на многое, чем раньше я не занимался.



*На странице Gunthard Kraus можно найти последнюю версию руководства к QucsStudio, если на моем сайте перевод устарел. Вместе с тем, само руководство очень познавательно.*



## || Кто есть кто на схеме умножителя

Разберем, кто есть кто на рис. 3.40:

- ♦ **V1** — это генератор синусоидального напряжения с частотой 1 кГц, напряжением 50 мВ (другими словами — это заместитель нашего диктора);
- ♦ **V2** — генератор прямоугольных импульсов с амплитудой от -1 до +1 вольта и частотой 20 кГц;
- ♦ **X1** — умножитель.

Рассмотрим результаты измерения приборами (три канала осциллографа) Pr1—Pr3 (рис. 3.41).

Частотный спектр выходного сигнала образован суммарной и разностной частотами, которые повторяются через 20 кГц (рис. 3.42), то есть, 30 кГц, 50 кГц и т. д.

Такая схема умножителя называется **переключаемый двойной балансный смеситель**. В этом случае потери преобразования 4 дБ.

Если изменять напряжение генератора меандра от 0 до +1 вольта, то вид выходного сигнала изменится (рис. 3.43).

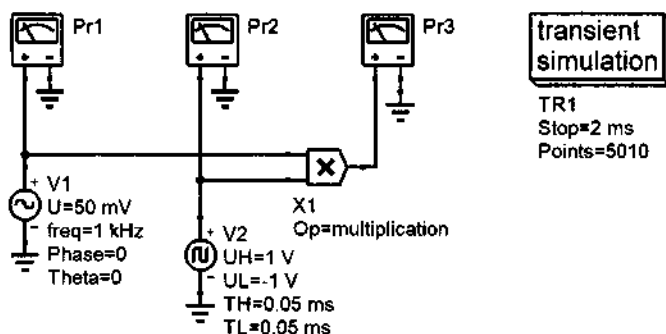


Рис. 3.40. Умножитель в качестве балансного смесителя

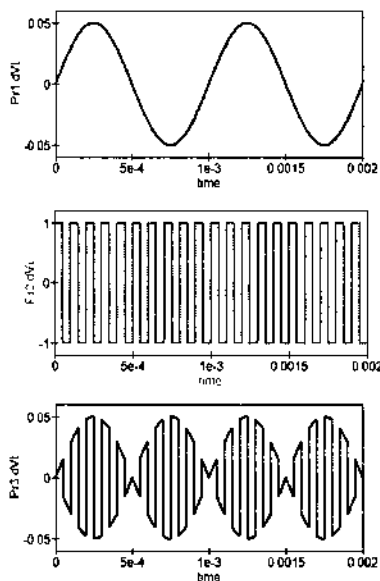


Рис. 3.41. Осциллограммы напряжений на входе и выходе

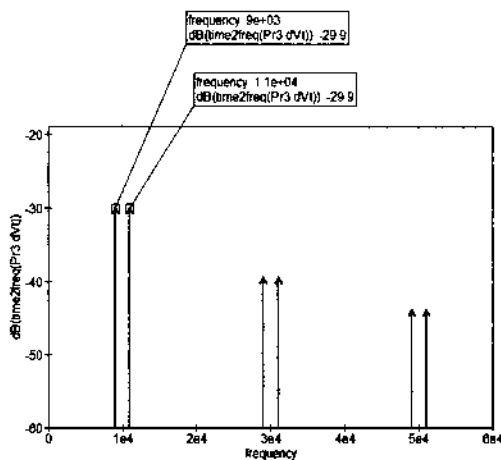


Рис. 3.42. Спектр выходного сигнала для умножителя рис. 3.40

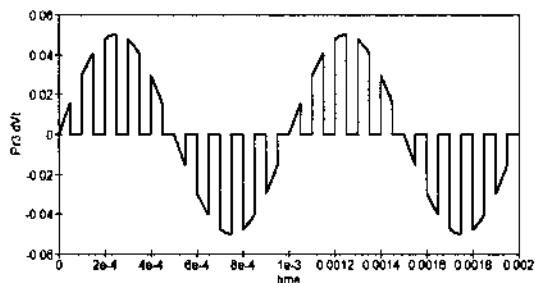


Рис. 3.43. Сигнал на выходе умножителя при изменении импульсного сигнала

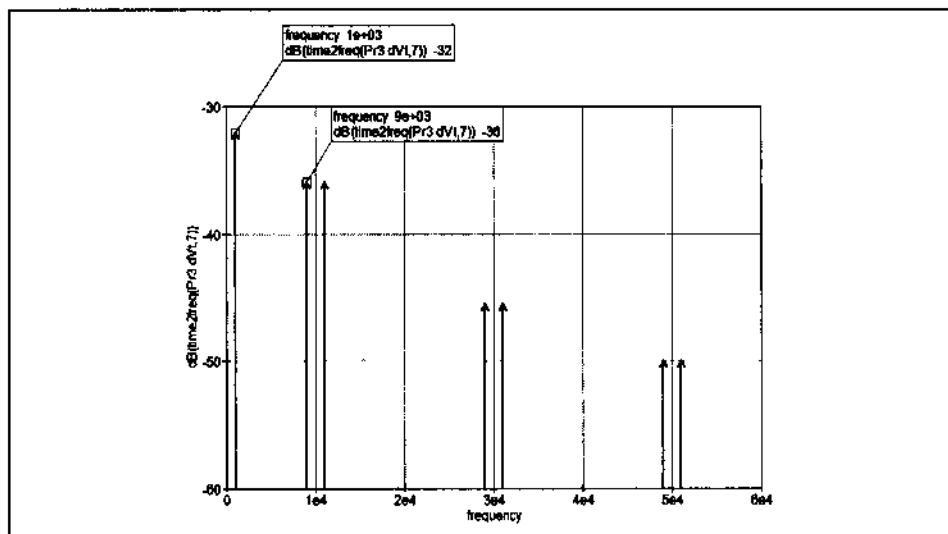


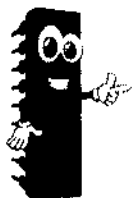
Рис. 3.44. Спектр выходного сигнала при однополярном импульсном сигнале

Вместе с изменением вида выходного сигнала несколько изменится и спектр сигнала (рис. 3.44).

Эта схема преобразования называется **одиночный балансный смеситель**. Потери преобразования составляют 10 дБ.

## Моделирование кольцевого модулятора

Рассмотрим еще моделирование **истиннодвойного балансного смесителя (кольцевой модулятор)**. Gunthard Kraus рассматривает снимки, отправленные спутником погоды NOAA с несущей частотой 137 МГц. После приема сигнала антенной нужно его усилить, отфильтровать, чтобы затем преобразовать. Преобразованием в промежуточную частоту 100 МГц занимается **кольцевой модулятор** (рис. 3.45).



### ПРИМЕЧАНИЕ.

Входной сигнал отображается прибором Pr1 (первый канал осциллографа). Сигнал гетеродина Pr2. Выходной сигнал Pr3. Диод 1N6263 – это диод Шоттки. Количество точек при симуляции выбирается с учетом нужного разрешения при быстром преобразовании Фурье. При переходе через ноль сигнала гетеродина можно наблюдать на выходном сигнале смену полярности.

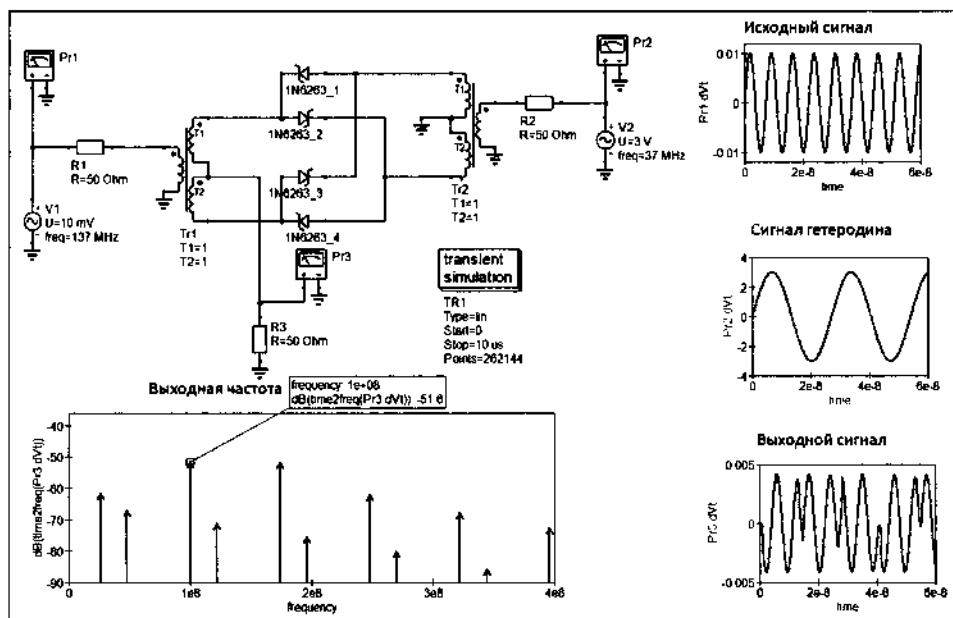


Рис. 3.45. Кольцевой модулятор

Потери преобразования в кольцевом модуляторе составят 4,7 дБ.

Для полноты картины рассмотрим **моделирование полосового фильтра**, который предваряет балансный смеситель. Требования к подобному фильтру могут быть весьма жесткими. Не буду пересказывать все, лучше об этом прочитайте у *Gunthard Kraus*, приведу только окончательный результат фильтра с центральной частотой 10,7 МГц, как пример использования простых пассивных элементов (рис. 3.46).

И я надеюсь, что вам понятно, почему я обратился за помощью к ПК, как это делают и разработчики современного радиоэлектронного оборудования. Программа QucsStudio существенно облегчает разработку фильтров. В разделе Tools есть подпрограмма синтеза фильтров. В диалоговом окне вы выбираете нужные вам параметры, а после расчета можете вставить в рабочее окно готовую версию фильтра (рис. 3.47).

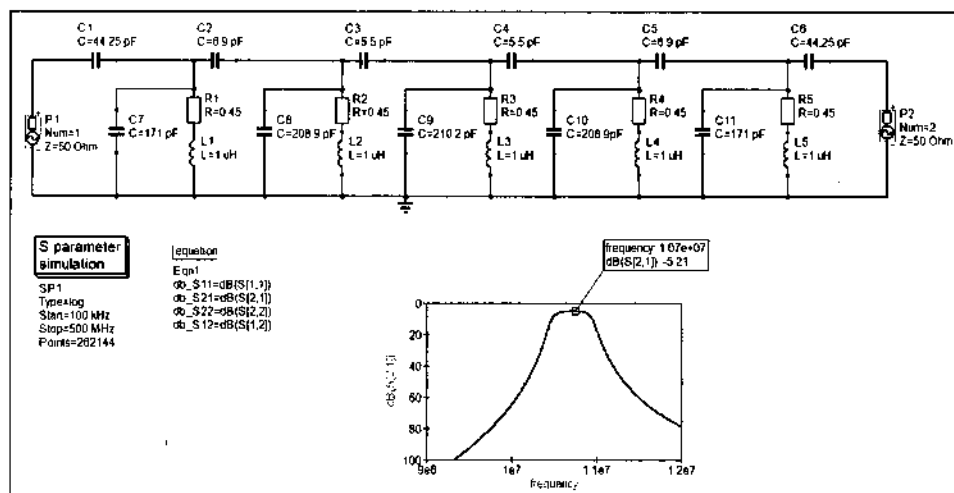


Рис. 3.46. Полосовой фильтра с центральной частотой 10,7 МГц и потерями порядка 5,21 дБ

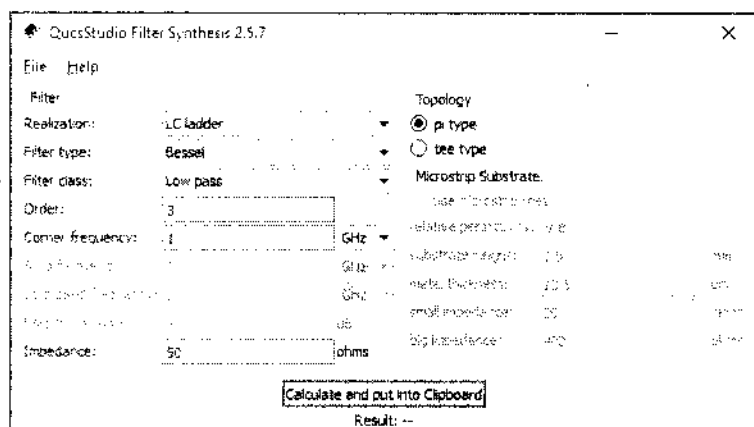
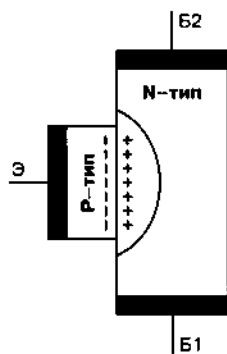


Рис. 3.47. Диалог синтеза фильтра в QucsStudio

ЧАСТЬ

# II

## ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ



*Справочник, справочник, справочник — целая полка справочников. У одних уже начали выпадать страницы, другие еще держатся. И все они готовы поведать про «кирпичики» радиоэлектроники. Я не против, но едва ли смогу дать «свободу слова» каждому из них.*

*Поэтому я предлагаю начать с экскурсии по Интернет-магазину «Чип и Дип». Почему «Чип и Дип»? Да, можно было бы обратиться к любому другому, но я привык пользоваться сайтом этого магазина, когда появляется необходимость посмотреть справку по тому или иному компоненту. Многими справочными материалами (datasheets) на моем компьютере я обязан магазину «Чип и Дип».*

*Наверное, самым привычным и наиболее часто используемым элементом любой электрической схемы, если не считать проводников, будет резистор. С него мы и начнем рассмотрение «кирпичиков». За время работы я не единожды встречал ситуацию,*



когда выход из строя только одного резистора прекращал работу очень сложного и полезного устройства. Вот такой он простой, но «непростой».

Конденсаторы тоже частые «гости» в электронике. Куда же без них? И то, что они бывают разными, известно всем. Однако повторение — мать учения.

Индуктивности встречаются реже, хотя в последнее время их можно встретить не только в виде силового трансформатора или входного контура приемника, или в виде поддержки генератора, но и на пустой двухсторонней печатной плате. Да, да, без других электронных компонентов.

А рассмотрение других электронных компонентов лучше начать с диодов и транзисторов. И это веяние времени — их тщательно скрывают покровами корпусов микросхем. Размещая там целые семейства (или даже мегаполисы) транзисторов. Можно, конечно, забыть о транзисторах-резисторах, достаточно знать, как включить микросхему. Но это справедливо только до первых неприятностей, до первой неисправности или первой ошибки. Чтобы избежать подобных ошибок, лучше знать, какие бывают транзисторы и как они работают.

Мы часто забываем, что есть такие простые компоненты как разъемы. А их столько, что в их многообразии можно потеряться. И у каждого из них свои свойства, свои предпочтения. Коммутационным компонентам мы посвятим главу, включая самые простые, кнопки.

Немного вспомним о датчиках и звуковых излучателях. Последние охватывают область от индикаторов до самых дорогостоящих звуковых систем. Хотя разговор о них требует отдельной и большой книги, а не беглого упоминания.

## **Глава 4. Резисторы**

## **Глава 5. Конденсаторы**

## **Глава 6. Катушки**

## **Глава 7. Полупроводниковые приборы**

## **Глава 8. Коммутационные элементы электроники**

## **Глава 9. Излучатели звука**

## **Глава 10. Датчики**

## **Глава 11. Микросхемы аналоговые, цифровые, импульсные и...**

# РЕЗИСТОРЫ

Где активно используется  
вредное явление? ||

Несмотря на то, что сопротивление протеканию электрического тока можно считать явлением вредным, ни одна современная схема электронного устройства не обходится без резисторов. С них мы и начнем наше путешествие (рис. 4.1).

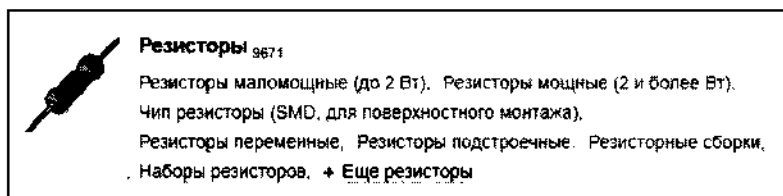


Рис. 4.1. Раздел резисторов в магазине «Чип и Дип»

Вспомним, что основные параметры резисторов — это номинальное значение (сопротивление), отклонение от номинального значения и допустимая мощность рассеивания. Не стоит, впрочем, забывать и о допустимом напряжении.

Номинальные значения резисторов связаны с точностью их изготовления. Есть **ряды номинальных значений**. Таким образом, если вы встретили в схеме значение сопротивления 1,2 кОм, то у вас есть выбор: можно купить резистор с допуском 10%, а можно с допуском 5%. Но, если в результате расчета вы получили значение близкое к 1,3 МОм, то вы можете использовать только резистор с допуском 5% или меньшим.

**Радиолюбитель:** Почему не использовать резисторы с допуском в 5% всегда?

В любительских условиях это так, но даже в любительских условиях может возникнуть необходимость в прецизионных резисторах. Конечно, нужное значение можно получить, соединяя несколько рези-

### CF-100 (C1-4) 1 Вт, 1 Ом, 5%, Резистор углеродистый

Код товара: 13667

Наименование: CF-100 (C1-4) 1 Вт 1 Ом 5%

Код товара: CF-100 (C1-4)

Категория: Резисторы

**3 руб.**

Мин. заказ для заказа 20 шт

Количество в корзине 10 шт


Добавить в корзину 20 шт на сумму 60 руб.

20 +

от 500 шт — 1 90 руб

от 5000 шт — по запросу

**В корзину**

### C2-29 0.125 Вт 0.1% 100 Ом, Резистор постоянный точный

Код товара: 8026679475

Наименование: C2-29 0.125 Вт 0.1% 100 Ом

Код товара: C2-29

Категория: Резисторы

**27 руб.**

Мин. заказ для заказа 23 шт

Количество в корзине 10 шт

Добавить в корзину 23 шт на сумму 621 руб

23 +

от 125 шт — 17 руб

от 400 шт — 14 руб

**В корзину**

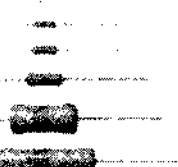
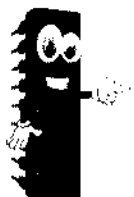


Рис. 4.2. Различные цены резисторов из разных рядов номинальных значений

сторov вместе, но удобнее использовать один резистор с нужным значением. Разберемся, почему в производстве не используют только резисторы с допуском 0,1%, если такие резисторы есть, а расчеты приводят к значениям из этого ряда.

Сравним розничные цены выводных резисторов с допуском 5% и 0,1% (рис. 4.2).

Не будем отрицать, что технология производства совершенствуется, и это сильно влияет на стоимость производимой продукции, но производство далеко не всегда поспевает за новшествами, поэтому при разработке электронных устройств стараются использовать по возможности более дешевые компоненты.



## ПРИЗОВЕМ НА ПОМОЩЬ ПК.

Посмотрим, как программа моделирования помогает определить допустимые параметры резистора. Используем знакомую схему каскада усиления на транзисторе с общим эмиттером.

## Еще раз о рабочей точке

Мы рассматривали расчет рабочей точки. Вернемся ненадолго к этому вопросу. Предположим, что в результате расчета и предварительного моделирования мы получили такой результат (рис. 4.3).

Обратимся к рядам номинальных значений. Ряд значений E24 дает значения 560 кОм и 620 кОм. Ближе значение 560 кОм. Этот номинал имеет и ряд E12. Оценим возможный разброс значений для случая выбора ряда E24 (5%): 588 кОм и 532 кОм. И посмотрим, что происходит с рабочей точкой (рис. 4.4).

Ясно, что использование ряда E12 только усугубит положение.

Можно выполнить моделирование так, как показано на рис. 4.4, но программы моделирования дают возможность провести более тщательный анализ ситуации (рис. 4.5).

При моделировании в программе Qucs той версии, что у меня на компьютере, возникли ошибки странного характера, поэтому проще

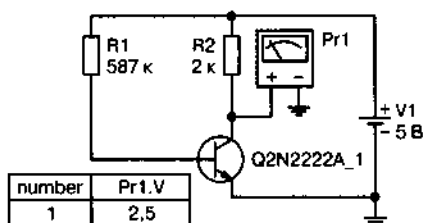


Рис. 4.3. Исходный результат расчета и моделирования в программе Qucs

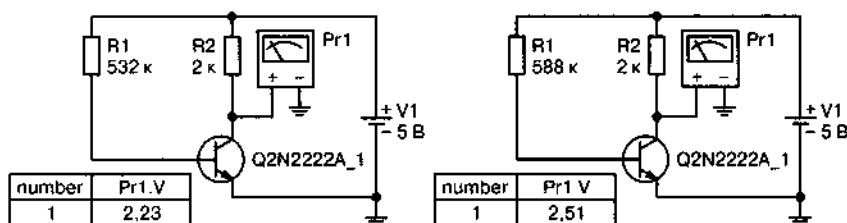


Рис. 4.4. Сравнение положения рабочей точки при разбросе значений резистора R1

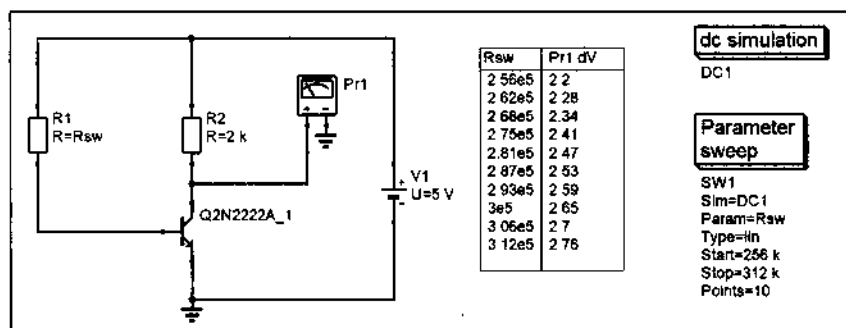


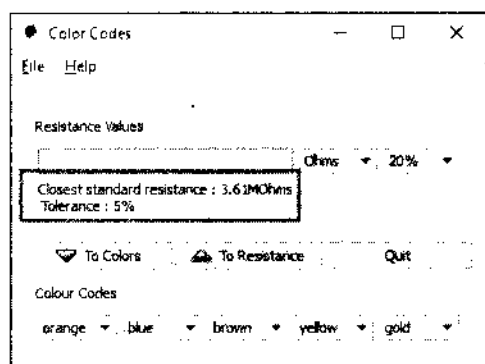
Рис. 4.5. Развертка параметра сопротивления R1 в программе QucsStudio

оказалось повторить это в программе QucsStudio. Из-за разницы в параметрах транзистора появляются разночтения, но смысл процедуры, думаю, понятен.

## Об утилите цветовой маркировки резисторов

И, пока я не выключил программу Qucs, хочу сказать, что она поможет вам разобраться в цветовой маркировке резисторов. Зайдите в раздел:

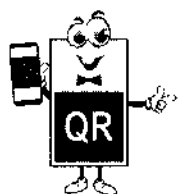
Инструменты → Resistor color codes (рис. 4.6).



**Рис. 4.6.** Утилита определения сопротивления резистора по цветовой маркировке в Qucs

Это резистор, который изображен на рис. 4.1, впрочем, вы легко найдете другие калькуляторы для определения сопротивления по цветовой маркировке в Интернете.

И мне осталось добавить, чтобы вы не забывали проверить мощность, рассеиваемую на резисторах схемы, чтобы у вас не получилось так, как было показано на рис. 2.38.



Дополнительная, но полезная справка о том, как проверить мощность, рассеиваемую резистором.



А, если напряжения в схеме могут быть довольно большими, не забывайте проверить допустимое напряжение для резистора. Обычный резистор с мощностью рассеивания 0,5 Вт имеет допустимое рабочее напряжение около 200 вольт. Если на резисторе падает напряжение в 300 вольт, то следует использовать составной резистор из двух компонентов.

И еще. Если вы создаете собственное устройство на цифровых микросхемах, использующее кнопки, то, особенно для микросхем TTL-логики, вместо ряда отдельных резисторов удобнее использовать резисторную сборку, например, как показано на рис. 4.7.

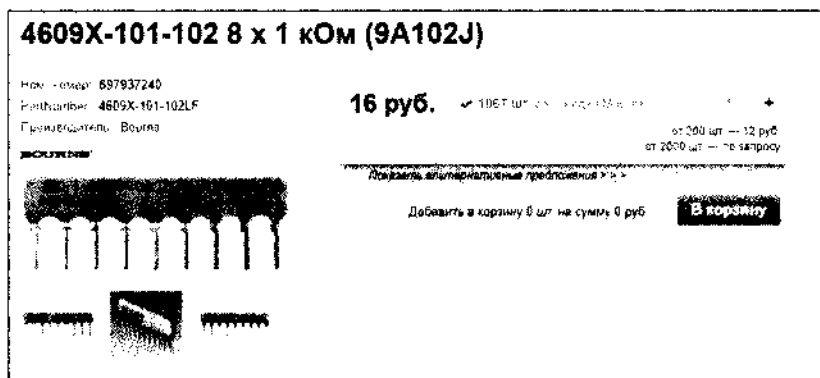


Рис. 4.7. Резисторная сборка

Развитие технологии производства резисторов и стремление к их удешевлению привели к появлению цветовой маркировки.

**Радиолюбитель:** А резисторы для поверхностного монтажа?

Появление этой технологии и миниатюризация электронных компонентов стали причиной того, что маркировка SMD резисторов требует определенных навыков или использования, как и с цветовой маркировкой, калькуляторов для определения значения резистора.

Экскурсия экскурсией, но она не заменит справочник.



### ПРИЗОВЕМ НА ПОМОЩЬ СПРАВОЧНИК.

Полистает справочник [8], чтобы закрепить то, что мы узнали о резисторах.

**Резистор** — это пассивный элемент электрической цепи, обладающий сопротивлением протеканию тока. Сопротивление проводника зависит от его длины, сечения и удельного сопротивления:

$$R = \rho l / S$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление материала проводника, Ом\*м;  
 $l$  — длина проводника, м;  $S$  — площадь сечения, м<sup>2</sup>.

Основная единица измерения сопротивления — ом. Чаще всего применяют еще в тысячу раз большую единицу килоом, и в миллион раз большую, мегаом.

На практике для нужд электроники выпускают резисторы, сопротивление которых, меняется от долей ома до многих мегаом.

## || Классификация резисторов

Резисторы в общем случае классифицируют по ряду признаков.

**По характеру изменения сопротивления:** постоянные, переменные регулировочные, переменные подстроечные.

**По способу монтажа:** для печатного, для поверхностного, для микросхем и модулей.

**По способу защиты:** изолированные, неизолированные, герметизированные, вакуумные.

**По материалу резистивного элемента:** проволочные, непроволочные, металлофольговые.

**По назначению:** общего назначения, прецизионные и сверхпрецизионные, высокочастотные, высоковольтные, высокомегаомные.

И резисторы классифицируют по материалу резистивного элемента.

**Проволочные, непроволочные:** тонкопленочные, толстопленочные, объемные.

**Тонкопленочные:** металлодиэлектрические, металлоокисные, металлизированные, углеродистые, бороуглеродистые.

**Толстопленочные:** лакопленочные, керметные, на проводящей пластмассе.

**Объемные:** с органическим диэлектриком, с неорганическим диэлектриком.

Наборы резисторов классифицируют: как простой набор, функциональный и комбинированный.

## || Условные обозначения резисторов

Условные обозначения резисторов образованы буквенно-цифровым способом: буква или несколько букв, обозначающих подкласс, например, R — резистор постоянный, RP — резистор переменный, NR — набор резисторов, TR — терморезистор и т. д. За ними следует цифра, например, 1 — непроволочные, 2 — проволочные или металлофольговые. За ними следует цифра регистрационного номера конкретного типа резистора.

В маркировку входят: номинальная мощность рассеяния, номинальное сопротивление, допустимое отклонение от номинала в процентах.

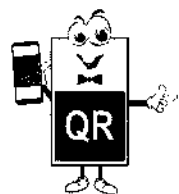
Номинальное сопротивление и отклонение от номинала связаны рядами номинальных сопротивлений: E6, E12, E24, E48, E96, E192. Цифра в данном обозначении указывает количество номинальных значений в каждом десятичном интервале. Допустимое отклонение от

номинала: E6 — допуск 20%, E12 — допуск 10%, E24 — допуск 5% (и 2%), E48 — допуск 2%, E96 — допуск 1%, E192 — допуск 0,5, 0,25, 0,1% и выше.

Пример номинальных рядов значений

Таблица 4.1

E6	E12	E24	E6	E12	E24	E6	E12	E24
1,0	1,0	1,0	2,2	2,2	2,2	4,7	4,7	4,7
		1,1			2,4			5,1
	1,2	1,2		2,7	2,7		5,6	5,6
		1,3			3,0			6,2
1,5	1,5	1,5	3,3	3,3	3,3	6,8	6,8	6,8
		1,6			3,6			7,5
	1,8	1,8		3,9	3,9		8,2	8,2
		2,0			4,3			9,1



Познакомиться со всеми номинальными рядами значений вы можете на странице РЕОМ Санкт-Петербурга, откуда и взята данная таблица.



В последнее время наметилась тенденция к цветовой маркировке резисторов. Чаще всего при маркировке используют четыре цветные полосы, но бывает и пять полосок.

Для первого варианта номинальное сопротивление образуется:

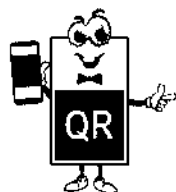
- ♦ первая полоска — первая цифра;
- ♦ вторая полоска — вторая цифра;
- ♦ третья полоска — множитель;
- ♦ четвертая — допуск.

Цветовая маркировка при четырех цветных полосках

Таблица 4.2

Цвет полоски	Номинальное сопротивление, Ом				Последняя, допуск, %
	Первая метка	Вторая метка	Третья метка	Множитель	
Серебристый	-	-	-	$10^{-2}$	$\pm 10$
Золотистый	-	-	-	$10^{-1}$	$\pm 5$
Черный	-	0	-	1	-
Коричневый	1	1	1	10	$\pm 1$
Красный	2	2	2	$10^2$	$\pm 2$
Оранжевый	3	3	3	$10^3$	-
Желтый	4	4	4	$10^4$	-
Зеленый	5	5	5	$10^5$	$\pm 0,5$
Голубой	6	6	6	$10^6$	$\pm 0,25$
Фиолетовый	7	7	7	$10^7$	$\pm 0,1$
Серый	8	8	8	$10^8$	$\pm 0,05$
Белый	9	9	9	$10^9$	-





Есть таблицы и ряд калькуляторов для определения сопротивления по цветовой маркировке. Вы можете воспользоваться этими методами для работы с резисторами.



## Основные электрические параметры

Кроме номинального значения и допуска резистора к электрическим параметрам относятся номинальная мощность и предельное напряжение.

Под **номинальной мощностью** понимают наибольшую мощность, которую резистор может рассеивать в заданных условиях в течение гарантированного срока службы при сохранении параметров в установленных пределах. Этот параметр зависит от конструкции и материала резистора не меньше, чем от внешней температуры, его для конкретных условий эксплуатации можно найти в сопроводительной документации.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

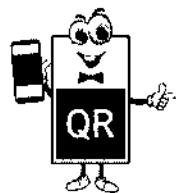
Обычно номинальную мощность резистора при покупке можно найти вместе с его номинальным значением.

Рабочее напряжение определяется по формуле:

$$U \leq \sqrt{P_n \times R_n}$$

где  $P_n$  — номинальная мощность рассеивания,  $R_n$  — номинальное сопротивление.

В некоторых случаях важным оказывается **температурный коэффициент сопротивления (ТКС)**, показывающий относительное изменение сопротивления на один градус Кельвина или Цельсия.



Вы можете сравнить этот коэффициент у разных типов резисторов, если это вам необходимо, либо по справочнику, либо в Интернете.



### Пример параметров постоянного резистора

Резисторы постоянные непроволочные С2-6, С2-11, С2-23, С2-33Н, С2-33, С2-33И, С2-50, МЛТ, ОМЛТ, МТ, Р1-4, Р1-7, Р1-8, Р1-11, Р1-12 (рис. 4.8). Размеры резистора серии С2-33Н представлены в табл. 4.3, а температурный коэффициент сопротивления — в табл. 4.4.

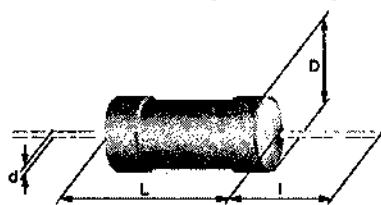


Рис. 4.8. Задаваемые размеры постоянного резистора

Размеры резистора серии С2-33Н

Таблица 4.3

Номинальная мощность, Вт	Диапазон номинальных сопротивлений, Ом	Размеры, мм				Масса, г, не более
		D	L	l	d	
0,125	$1-3,01 \times 10^4$	2,2	6,0	20	0,6	0,15
0,25	$1-5,11 \times 10^5$	3,0	7,0			0,25
0,5	$0,1-5,11 \times 10^6$	4,2	10,2	25	0,8	1,0
1	$1-10 \times 10^6$	6,7	13,0			2,0
2	$1-22 \times 10^6$	8,8	18,5		1,0	3,5

Температурный коэффициент сопротивления

Таблица 4.4

Диапазон номинальных сопротивлений, Ом	ТКС, $10^{-6} 1/^{\circ}\text{C}$ , в интервале температур		Обозначение групп ТКС
	От $-60$ до $+20^{\circ}\text{C}$	От $+20$ до $+150^{\circ}\text{C}$	
0,1–0,91	$\pm 1000$	$\pm 1000$	Ж
$10,2-237 \times 10^3$	$\pm 300$	$\pm 100$	В
$1,0-10 \times 10^6$	$\pm 500$	$\pm 250$	Г
$1,0-10 \times 10^6$	$\pm 500$	$\pm 500$	Д
$10 \times 10^6 \dots 2 \times 10^6$	$\pm 1500$	$\pm 1000$	Ж

### Переменные резисторы

Переменные регулировочные резисторы, как правило, выбирают по номинальному значению, номинальной мощности, функциональной характеристике. По последнему параметру резисторы делятся на линейные — типа А, нелинейные — типов Б, В, И, Е и др. (рис. 4.9).

**Радиолобитель:** А какие параметры еще важны?

Важным параметром переменных резисторов, кроме основных параметров, является **износоустойчивость**. Она зависит в основном

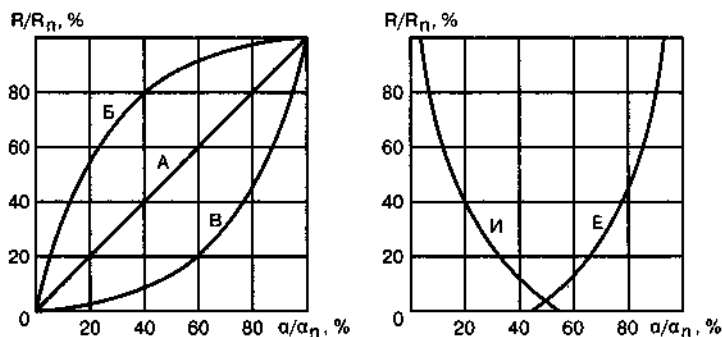
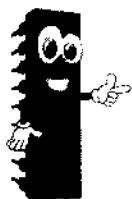


Рис. 4.9. Функциональные характеристики переменных резисторов

от применяемого материала и формы подвижного контакта, от резистивного элемента и контактного давления. Количественно износостойчивость определяется **допустимым количеством поворотов**, от упора до упора, подвижной системы, когда параметры резистора еще остаются в норме.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Например, для резисторов общего назначения это число 5000–100000 циклов.

Внешний вид переменных резисторов зависит от модели и назначения, регулировочные они или подстроечные (рис. 4.10).

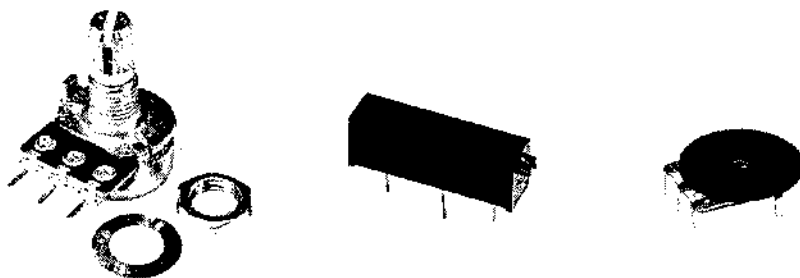


Рис. 4.10. Внешний вид регулировочных и подстроечного резистора переменного сопротивления

## Резисторы для поверхностного монтажа

В последнее время для бытовой аппаратуры и измерительных приборов все чаще используют SMD (для поверхностного монтажа) резисторы (рис. 4.11). Как и для остальных резисторов, для них остаются в силе (по важности) все параметры постоянных резисторов. Резисторы различают по габаритам (рис. 4.12) и маркировке.

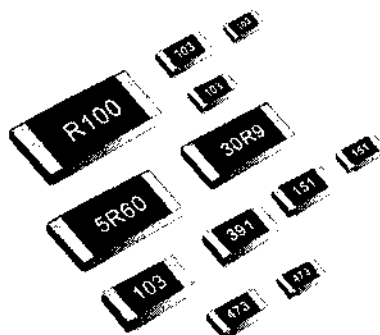


Рис. 4.11. Резисторы для поверхностного монтажа



Узнать больше об устройстве SMD резисторов, не разбирая их, вы сможете на этом сайте.

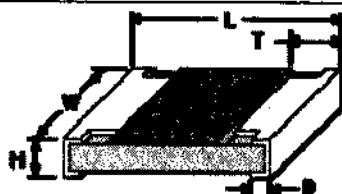


Типоразмеры резисторов SMD связаны с остальными параметрами (табл. 4.5).

Параметры SMD резисторов

Таблица 4.5

Типоразмер	Номинальная мощность, Вт	ТКС, $\pm$ ppm/°C	Допуск, %	Сопротивление, МОм	Допустимое напряжение, В
01005	1/32 (0,0312)	200	1 (5)	1–10	20
0201	1/20 (0,05)	200	1 (5)		25
0402	1/16 (0,0625)	100	1(5)		50
0603	1/10 (0,1)	100	1 (5)		50
0805	1/8 (0,125)	100	1 (5)		150
1206	1/4 (0,25)	100	1 (5)		200
1210	1/3 (0,333)	100 (200)	1 (5)		200
2010	1/2 (0,5)	100 (200)	1 (5)		200
2512	1	100 (200)	1 (5)		250

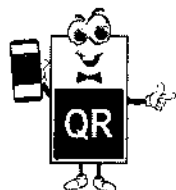


Типоразмер EIA	Типоразмер метрический	L (mm)	W (mm)	H (mm)	D (mm)	T (mm)
0402	1005	1.0±0.1	0.5±0.05	0.35±0.05	0.25±0.1	0.2±0.1
0603	1608	1.6±0.1	0.85±0.1	0.45±0.05	0.3±0.2	0.3±0.2
0805	2012	2.1±0.1	1.3±0.1	0.5±0.05	0.4±0.2	0.4±0.2
1206	3216	3.1±0.1	1.6±0.1	0.55±0.05	0.5±0.25	0.5±0.25
1210	3225	3.1±0.1	2.6±0.1	0.55±0.05	0.4±0.2	0.5±0.25
2010	5025	5.0±0.1	2.5±0.1	0.55±0.05	0.4±0.2	0.6±0.25
2512	6332	6.35±0.1	3.2±0.1	0.55±0.05	0.4±0.2	0.6±0.25

Рис. 4.12. Типоразмеры постоянных резисторов для поверхностного монтажа

Маркируют SMD резисторы тремя цифрами и четырьмя цифрами. Есть еще маркировка EIA-96.

При маркировке тремя цифрами первые две — это значение, последняя множитель, то есть  $10^x$ . При маркировке четырьмя цифрами: первые три относятся к значению, последняя — множитель. Если сопротивление резистора меньше одного ома, то используют префикс R. Этот же знак заменяет запятую, когда сопротивление меньше 10 Ом. Для маркировки EIA-96 вместо цифры для множителя используют буквенное обозначение.



Поближе познакомиться с маркировкой резисторов для поверхностного монтажа вам поможет ссылка.



## Высоковольтные высокомегаомные и высокочастотные резисторы

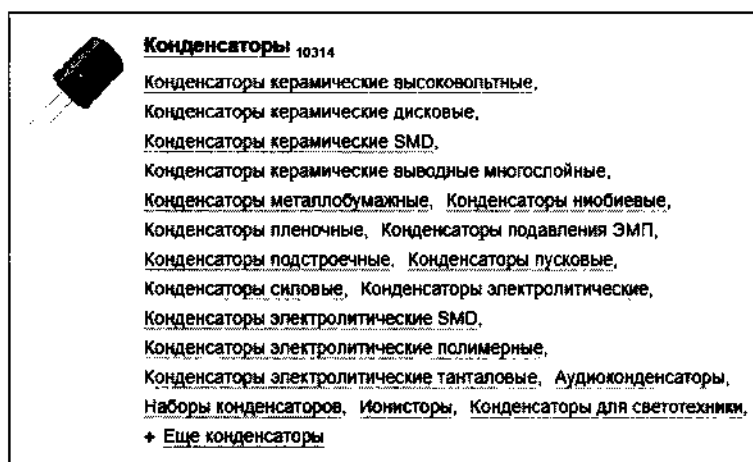
Высокомегаомные и высоковольтные резисторы с композиционным лакосажевым проводящим слоем предназначены для работы в цепях постоянного и переменного тока (СЗ-13, СЗ-14, КВМ, КИМ, КЛМ).

Резисторы с металлодиэлектрическим (С2-10, С2-34) и металлоокисным (МОУ, МОУ-III) проводящим слоем предназначены для работы в высокочастотных и импульсных цепях.

# КОНДЕНСАТОРЫ

**Очень знаменит,  
но прост и доступен**

Конденсаторы, наверное, занимают второе место по популярности в любой схеме электронного устройства. О чем свидетельствует и разнообразие типов конденсаторов (рис. 5.1).



*Рис. 5.1. Конденсаторы разных типов*

Для конденсаторов, как и для резисторов, есть номинальный ряд значений. Но на практике с конденсаторами несколько проще. Посмотрим, что изменится, если мы изменим значение конденсатора на входе усилителя. Нас, в первую очередь, будет интересовать **частотный диапазон**, то есть, мы посмотрим АЧХ усилителя при разных значениях номинала конденсатора (рис. 5.2).

Во многих случаях эта разница не будет определяющей, но не тогда, когда речь идет о фильтрах (посмотрите на значения конденсаторов на рис. 3.46) или о колебательном контуре генератора. Часто, особенно в любительской практике, эту проблему можно решить с помощью подстроечных конденсаторов (рис. 5.3).

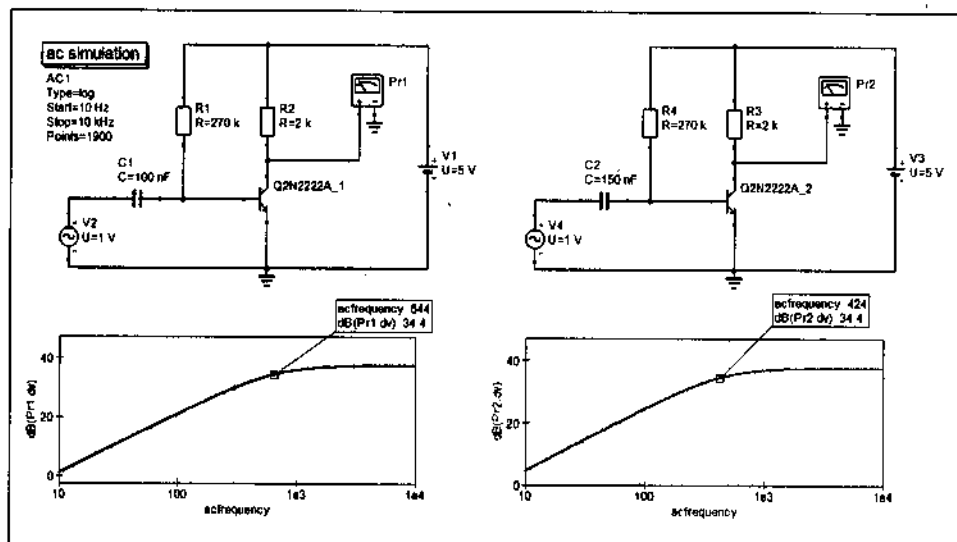


Рис. 5.2. Амплитудно-частотные характеристики при разных значениях конденсаторов

**chipdip.** Поиск информации

Каталог товаров: Платы > Запасные компоненты > Конденсаторы > Подстроечные

### Конденсаторы подстроечные

Сортировка: По цене По популярности По количеству в магазине По дате поступления

623 140 шт. в наличии

Производитель	Товар	Изображение	Цена	В наличии
Муфта	T2092705169 10-100 пФ, конденсатор подстроечный Товар: Муфта Тип: T209 Емкость макс.: 100 пФ Емкость мин.: 10 пФ		24 руб.	В наличии
Муфта	T27492060491 5-50 пФ, 500 конденсатор подстроечный Товар: Муфта Тип: T2749 Емкость макс.: 50 пФ Емкость мин.: 5 пФ		42 руб.	В наличии
Муфта	T27492060491 5-50 пФ, 500 конденсатор подстроечный Товар: Муфта Тип: T2749 Емкость макс.: 50 пФ Емкость мин.: 5 пФ		50 руб.	В наличии
Муфта	T26422060491 1-43 пФ, 200 конденсатор подстроечный Товар: Муфта Тип: T2642 Емкость макс.: 43 пФ Емкость мин.: 1 пФ		34 руб.	В наличии

Рис. 5.3. Подстроечные конденсаторы

«Основная единица измерения емкости фарада. Но на практике вы встретите только микрофарады, нанофарады и пикофарады», — так я начал бы свой рассказ несколько лет назад. Я и сегодня начал бы рассказ так, если не встретил бы на просторах Интернета статью, содержащую полезный рассказ про ионистор.



*Полезный рассказ про ионистор.  
Про то, чем он похож на обычный электроли-  
тический конденсатор, а чем от него отлича-  
ется. Про то, как он работает.*



И это не повествование про удачные эксперименты в лаборатории. Вы можете в этом убедиться сами (рис. 5.4).

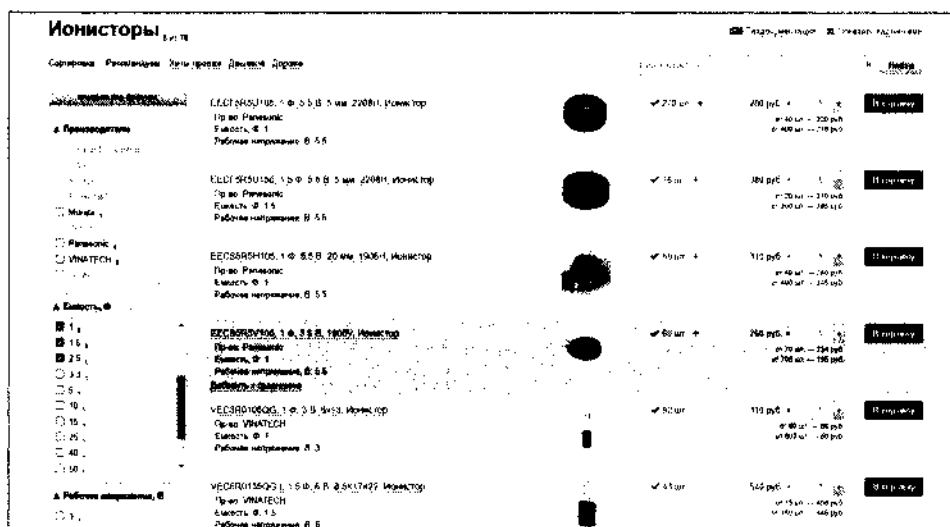


Рис. 5.4. Ионисторы в магазине «Чип и Дип»

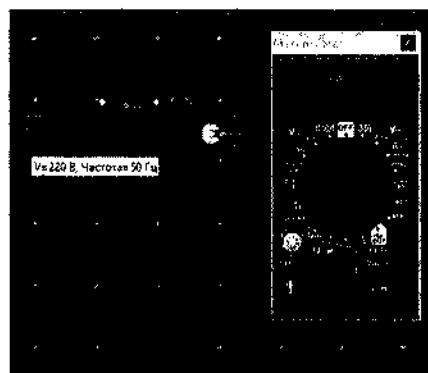


Рис. 5.5. Использование конденсатора в роли гасящего резистора





## ВНИМАНИЕ.

Если во многих случаях допуск не будет определяющим при выборе конкретного конденсатора, то к допустимому напряжению следует относиться внимательнее. В первую очередь, когда конденсатор используется в схеме, например, источника питания на стороне входа. Конденсатор часто используют в качестве «гасящего резистора» в ряде схем.

Вернемся на секунду к программе НАЧАЛА ЭЛЕКТРОНИКИ. Вот о чем идет речь (рис. 5.5).

## Делитель напряжения из конденсатора и нагрузки

Лампочка имеет рабочее напряжение 12 вольт. Но ее предстоит использовать в сети переменного напряжения 220 вольт. Потребляет лампочка ток около 50 мА. Если использовать обычный резистор вместо конденсатора, сопротивление которого 4 кОм, то мощность рассеивания резистора должна быть порядка 10,5 ватт. Жилое помещение резистор не обогреет, но будет стараться это сделать изо всех сил!

Применив конденсатор подходящей емкости, мы не будем беспокоиться об охлаждении, поскольку конденсатор греться не будет. Но в выборе конденсатора следует быть осторожным.

**Радиоловитель: А в чем проблема?**

Хорошо, я выбрал конденсатор, который мне показался подходящим (рис. 5.6).

### K73-17 имп, 1.5 мкФ, 250 В, 5-10%, Конденсатор металлоплёночный

Изм. номер: 37777  
PartNumber: CL21(CBB21) 5uF 250V  
Производитель: Китай

**15 руб.** ✓ 1275 шт. со склада : Москва

Мин. кол-во для заказа 3 шт.

от 300 шт. — 12 руб.  
от 3000 шт. — по запросу

Добавить в корзину 3 шт. на сумму 45 руб.

**В корзину**

Описание    Сроки доставки    Цена и наличие в магазинах

Импортные пленочные конденсаторы, являющиеся аналогами отечественных К73-17. Конденсаторы предназначены для использования в цепях постоянного, переменного и пульсирующего тока и в импульсных режимах. Диапазон номинальных значений емкости: 0.001 мкФ — 4 ГнФ. Рабочее напряжение (Ураб): 100В, 250В, 400В, 530В.

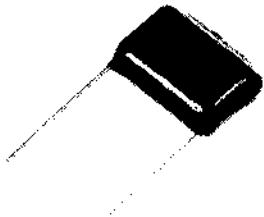


Рис. 5.6. Металлоплёночный конденсатор

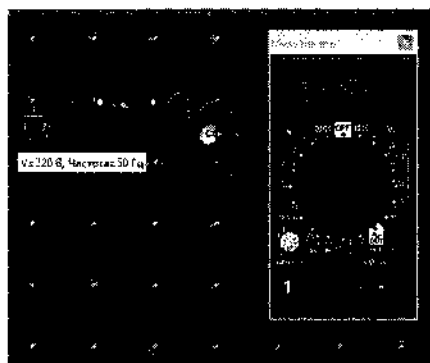
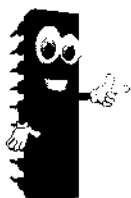


Рис. 5.7. Неудачный опыт с конденсатором

В отличие от цветовой маркировки, где можно перепутать цвет полосок, здесь ясно написано 250 вольт, а в сети 220 вольт. Но чем это может закончиться (рис. 5.7).



### ЭТО ВАЖНО.

На конденсаторах, за редким исключением, пишут допустимое постоянное напряжение. Если напряжение превышает предел допустимого, то диэлектрик конденсатора пробивается, а конденсатор — закорачивается. Удар напряжения приходится по схеме за конденсатором, выводя ее из строя. Пробой бывает самовосстанавливающимся, то есть при поиске неисправности конденсатор покажет, что он «ни при чем».

В нашем случае следует использовать конденсатор на 400 вольт, поскольку амплитуда переменного напряжения может достигать 340 вольт.

## Начальные условия

Есть и еще одна **неприятность**, связанная с таким построением схемы. Когда вы включаете устройство в сеть, вы не знаете, с каким напряжением в данный момент времени имеете дело. А конденсатор в этот момент, вы это знаете, пропускает ток, сопротивление конденсатора минимально. Будет ли нагрузка рада «такому подарку», едва ли.

Мне доводилось сталкиваться с довольно дорогим устройством, принимающим команды по радиоканалу, которое эти команды транс-

формировало в коды системы X10, устройством, купленным в американском магазине.. Из-за необходимости освободить розетку, его выключали, а затем включали вновь. После второй замены, вышедшего из строя устройства, где перегорал микроконтроллер, я подумал, почему разработчики не предусмотрели ничего, кроме последовательно включенного с конденсатором резистора небольшого сопротивления. И это еще не самое страшное.



### ВНИМАНИЕ.

*Электролитические конденсаторы при перенапряжении могли взрываться!*

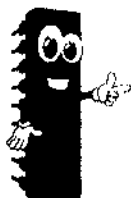
Ранние версии электролитических конденсаторов были склонны к высыханию электролита. Вместо положенных нескольких микрофард можно было обнаружить лишь несколько пикофард. Такое бывало. Но и для современных моделей конденсаторов следует учитывать условия работы. Вы, конечно, не профсоюз, но я встречал весьма дорогие устройства, которые выходили полностью из строя из-за высохших электролитических конденсаторов, нагреваемых рядом расположенными компонентами или внешними «раздражителями».



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Если вы намерены собрать готовую схему, имеющую хорошую спецификацию, то следуйте указаниям. Иногда требуется использовать, например, танталовые электролитические конденсаторы, не пренебрегайте советами разработчиков!*

И не забывайте, что есть прекрасный помощник в вашей работе.



### ПРИЗОВЕМ НА ПОМОЩЬ СПРАВОЧНИК.

*Справочники, конечно, имеют свойство устаревать. Это же можно сказать и о самих компонентах. Но происходит все не так быстро, как это кажется на первый взгляд [9].*

**Конденсатор** (от латинского *condensare* — «уплотнять», «сгущать» или от *condensatio* — «накопление») — устройство для накопления

заряда и энергии электрического поля. Емкость конденсатора измеряется в фарадах.

Для плоского конденсатора, состоящего из двух параллельных металлических пластин площадью  $S$  (м<sup>2</sup>) каждая, расположенных на расстоянии  $d$  друг от друга, в системе СИ емкость выражается формулой:

$$C = \epsilon \epsilon_0 S / d$$

где  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость среды, заполняющая пространство между пластинами (в вакууме равна единице),  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная, численно равная  $8,854187817 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

Эта формула справедлива тогда, когда  $d$  (м) намного меньше линейных размеров пластин.

## Классификация конденсаторов

Конденсаторы, в общем случае, классифицируют по ряду признаков. Рассмотрим их.

**По характеру изменения емкости:** постоянные, переменные, подстроечные.

**По способу защиты:** защищенные, незащищенные, изолированные, неизолированные, уплотненные, герметизированные.

**По назначению:** общего назначения, специальные.

**По способу монтажа:** для печатного, для поверхностного, для микросхем и модулей.

**По виду диэлектрика:** с органическим диэлектриком, с неорганическим диэлектриком, с оксидным диэлектриком, с газообразным диэлектриком.

## Условные обозначения и маркировка конденсаторов

Условное обозначение конденсаторов выполняется **буквенно-цифровым методом**.

**Первая буква** обозначает подкласс: **К** — постоянной емкости, **КТ** — подстроечный, **КП** — переменной емкости.

**Второй элемент** — цифра, обозначающая группу конденсатора в зависимости от материала диэлектрика. Например, цифра 10 — керамические конденсаторы с номинальным напряжением ниже 1600 В; цифра 15 — напряжение 1600 В и выше; 21 — стеклянные; 22 — стекло-керамические и т. д.

**Третий элемент**, через дефис, обозначает регистрационный номер конкретного типа, в состав которого может входить и буквенное обо-

значение. Рассмотрим пример обозначения: К1-17. Это керамический конденсатор постоянной емкости с номинальным напряжением до 1600 В и регистрационным номером 17.

**Маркировка конденсаторов** тоже буквенно-цифровая. Она содержит: сокращенное обозначение конденсатора, номинальное напряжение, номинальное значение емкости, допуск и климатическое исполнение.

**Полное обозначение номинальных емкостей** — это значение и единица измерения, то есть, пФ для емкости в пикофарадах, мкФ для емкости в микрофарадах.

**Кодированное обозначение** состоит из трех или четырех знаков, включающих две или три цифры и букву, обозначающую множитель П(р) —  $10^{-12}$ , Н(н) —  $10^{-9}$  и т. д. Например: 1,5 пФ имеет обозначение 1П5 или 1р5; 0,1 мкФ обозначается 10Н или 10п.

Как и резисторы, конденсаторы имеют ряды номинальных значений, связанных с допуском.

Наиболее употребительные ряды  
номинальных значений конденсаторов

Таблица 5.1

E6	E12	E24	E6	E12	E24	E6	E12	E24
1,0	1,0	1,0	2,2	2,2	2,2	4,7	4,7	4,7
		1,1			2,4			5,1
	1,2	1,2		2,7	2,7		5,6	5,6
		1,3			3,0			6,2
1,5	1,5	1,5	3,3	3,3	3,3	6,8	6,8	6,8
		1,6			3,6			7,5
	1,8	1,8		3,9	3,9		8,2	8,2
		2,0			4,3			9,1

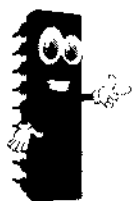
Сравнивая обе таблицы, резисторов и конденсаторов, можно отметить их совпадение.



Я, признаться, не встречал конденсаторов, маркированных цветowymi полосками. Но они есть, и, если вам понадобится, можете обратиться к источнику в Интернете.



#### СОВЕТ.

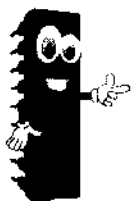


Если вы обнаружили маркировку конденсатора, которая не совпадает с вышеуказанной, самый простой способ — это поискать в Интернете, что за конденсатор у вас в руках.

## Основные электрические параметры

К основным электрическим параметрам относятся:

- ♦ номинальное напряжение;
- ♦ номинальный ток.



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

**Номинальное напряжение** — это значение напряжения, при котором конденсатор может сохранять свою работоспособность и параметры в течение обозначенного срока службы и в заданных условиях эксплуатации.

При эксплуатации конденсатора в случае наличия и постоянного, и переменного напряжения сумма амплитудного значения переменного напряжения и значения постоянного напряжения не должна превышать номинального напряжения. Амплитуда переменного напряжения не должна превышать значения, рассчитанного исходя из допустимой реактивной мощности:

$$U = 565 \times 10^3 \sqrt{P_{\text{р.доп.}} / fC}$$



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

**Номинальный ток** — это наибольший ток, при котором конденсатор может работать в заданных условиях в течение гарантированного срока службы.

Этот допустимый ток, как и напряжение, зависит от конструкции, примененного материала, частоты переменного или пульсирующего напряжения и температуры окружающей среды. При прохождении через конденсатор радиоимпульсов значение импульсного тока определяется по формуле:

$$I_{\text{и}} = I_{\text{н}} \sqrt{Q}$$

где  $I_{\text{и}}$  — импульсный ток,  $I_{\text{н}}$  — номинальный ток,  $Q$  — скважность импульсов.

Кроме этих параметров при разработке радиоэлектронной аппаратуры учитывается **тангенс угла потерь**, который характеризует потери энергии и определяется отношением активной мощности к реактивной.

В ряде случаев важным параметром становится **сопротивление изоляции**, обусловленное прохождением тока при заданном постоянном напряжении, напряжение испытания зависит от номинального

напряжения, через конденсатор. Этот ток называют **током утечки**, его измеряют в установившемся режиме при подаче постоянного напряжения.

## || Конденсаторы и температура

В радиоэлектронике особое значение приобретает **температурный коэффициент емкости**. Величина ТКЕ определяется линейной зависимостью относительного изменения емкости от изменения температуры окружающей среды на один градус Кельвина или Цельсия. По значению ТКЕ конденсаторы делятся на группы, определяемые в таблицах, с учетом положительного или отрицательного значения величины. Например, П60 — это значение +60, а М470 — значение -470. Параметр зависит от материала диэлектрика.

Для конденсаторов с нелинейной зависимостью от температуры или с большим уходом емкости от температуры приводится относительное изменение емкости в рабочем интервале температур.

Кроме того, конденсаторы разделяют на низкочастотные и высокочастотные, низковольтные и высоковольтные, добавляя в группу особый тип импульсных конденсаторов. А переменные конденсаторы (и подстроечные) характеризует наличие диэлектрика или его отсутствие, с воздушным они диэлектриком или вакуумные. Последние имеют меньшую емкость, но имеют ряд других параметров, которые лучше, чем у конденсаторов, например, с керамическим диэлектриком.

### **Радиолюбитель: А электролитические конденсаторы?**

Особую группу конденсаторов образуют **электролитические конденсаторы**.

Электролитические конденсаторы устроены так, что диэлектриком между обкладками служит пленка оксида металла. Анод выполнен из металла, а катод — это твердый, жидкий или гелевый электролит. Электролитические конденсаторы имеют большую емкость, до тысяч микрофард. Их разделяют на алюминиевые, танталовые, полимерные и гибридные.

Обычные электролитические конденсаторы отличаются полярностью, есть плюсовой вывод, есть минусовый вывод (он часто обозначен на корпусе). Но есть разновидность неполярных электролитических конденсаторов.

Пример параметров конденсатора КМ-3 приведен в табл. 5.2.

Параметры конденсатора группы КМ-3

Таблица 5.2

Группа ТКЕ	Номинальная емкость, пФ	Номинальное напряжение, В	Масса изолированных, не более, г
Н30	680, 1000, 1500	250	0,7
	2200, 3300, 4700		1,0
	6800		1,5
	0,01, 0,015		2,0
	0,022		3,0

## SMD конденсаторы (для поверхностного монтажа)

Компоненты для поверхностного монтажа приобретают все большее значение даже в любительской практике (рис. 5.8).

**Неполярные конденсаторы** — керамические, пленочные и др. — могут не иметь маркировки. Маркировка керамических конденсаторов может состоять из двух или трех символов и цифры. Первая буква обозначает производителя, вторая определит значение, а третья цифра не что иное, как показатель степени емкости в пикофарадах, образующий величину емкости. Соответствие между символом и значением емкости приведено в табл. 5.3.

## Конденсаторы керамические

Типоразмер EIA	Типоразмер метрический	L (mm)	W (mm)	H (mm)
0402	1005	1.0	0.5	0.55
0603	1608	1.6	0.8	0.9
0805	2012	2.0	1.25	1.3
1206	3216	3.2	1.6	1.5
1210	3225	3.2	2.5	1.7
1812	4532	4.5	3.2	1.7
1825	4564	4.5	6.4	1.7
2220	5650	5.6	5.0	1.8
2225	5664	5.6	6.3	2.0

## Конденсаторы танталовые

Типоразмер	Типоразмер метрический	L (mm)	W (mm)	H (mm)	D (mm)
A	3216	3.2	1.6	1.6	1.2
B	3528	3.5	2.8	1.9	2.2
C	6032	6.0	3.2	2.5	2.2
D	7343	7.3	4.3	2.9	2.4
E	7343H	7.3	4.3	4.1	2.4

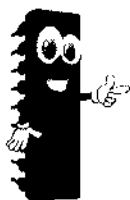
Рис. 5.8. Типоразмеры конденсаторов для поверхностного монтажа



Соответствие между символом и значением емкости

Таблица 5.3

Символ	Значение	Символ	Значение
A	1	S	4,7
B	1,1	T	5,1
C	1,2	U	5,6
D	1,3	V	6,2
E	1,5	W	6,8
F	1,6	X	7,5
G	1,8	Y	8,2
H	2	Z	9,1
J	2,2	a	2,5
K	2,4	b	3,5
L	2,7	d	4
M	3	e	4,5
N	3,3	F	5
P	3,6	m	6
Q	3,9	n	7
R	4,3	t	8

**ПРИМЕР.**

*KS3 означает, что производитель Kemet, значение 4,7 и множитель  $10^3$ , а конденсатор имеет значение 4700 нФ.*

Разные производители электролитических конденсаторов по-разному маркируют свои изделия. Широко используется буквенно-цифровая маркировка, где первый символ обозначает рабочее напряжение, далее две цифры значения, последняя цифра — это показатель степени.

Буквенные обозначения напряжения

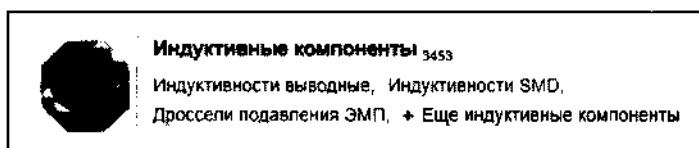
Таблица 5.4

Буквенный символ	Значение напряжения, В
e	2,5
G	4
J	6,3
A	10
C	16
D	20
E	25
V	35
H	50

# КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ

Начнем  
с простого разглядывания

**Катушка индуктивности** — это простой пассивный элемент устройства. Но, если бы он был и впрямь пассивен, лениво проводя время на плате, то многих электронных устройств сегодня не было б в помине. Вероятно, следует различать катушки индуктивности и дроссели, которые есть в продаже (рис. 6.1).



*Рис. 6.1. Разновидности катушек индуктивности*

Рассмотрим их «поближе». Итак, катушки индуктивности выводные (рис. 6.2).

По виду — это резистор, но, по сути, индуктивность. Я, признаюсь, готов отречься от своего заявления, что есть катушки индуктивности и дроссели. Та, что на рис. 6.2, имеет индуктивность 1 мкГн, допускает ток в 750 мА. И при этом имеет размеры очень небольшие. Такую катушку индуктивности можно использовать и в цепях питания радиоустройств, где дроссели использовали традиционно, и в LC-контуре генератора, и в фильтре.

Более того, катушки индуктивности для поверхностного монтажа, например, неразличимы по виду с катушками индуктивности (рис. 6.3).

При токе в 1,1 А эту катушку индуктивности прекрасно можно использовать в импульсном преобразователе напряжения. И я отметил то, о чем говорил в самом начале — вы всегда найдете справочное сопровождение на сайте «Чип и Дип».

**B82141A1102K000, 1 мкГн, 725 мА, 10% (EC24, 0307), Индуктивность**

Номер: 9000436159  
Наименование: B82141A1102K  
Производитель: EPCOS

**9 руб.** ☒ 3025 шт. на складе в Москве  
Мин. кол-во для заказа 3 шт.  
от 300 шт. — 7 руб.  
от 3000 шт. — по запросу

Добавить в корзину 3 шт. на сумму 27 руб. **В корзину**

Есть аналоги

Описание | Сроки доставки | Цена и наличие в магазинах

Постоянные индуктивности серии B82141A  
Малые габаритные размеры  
Большой диапазон номиналов  
Точность 5-10%  
Выходы аксиальные наiformованные  
Для применения в радио-, электронной технике

**Технические параметры**

Серия	B82141A
Номинальная индуктивность, мкГн	1
Допуск номинальной индуктивности, %	10
Максимальный постоянный ток, мА	725
Активное сопротивление Ом	9 19
Добротность Q	40
Рабочая температура, °C	-55 ... 125
Способ монтажа	в отверстие
Длина корпуса, мм	6,8
Диаметр/ширина корпуса, мм	3
Вес, г	0 22

Рис. 6.2. Выводная индуктивность в магазине «Чип и Дип»

**SDR0604-330KL, 33 мкГн катушка индуктивности SMD**

Номер: 9000436159  
Наименование: SDR0604-330KL  
Производитель: EPCOS

**22 руб.** ☒ 3025 шт. на складе в Москве  
Мин. кол-во для заказа 3 шт.  
от 300 шт. — 7 руб.  
от 3000 шт. — по запросу

Добавить в корзину 9 шт. на сумму 19 руб. **В корзину**

Есть аналоги

Описание | Сроки доставки

INDUCTOR SDR0604 10% Inductor Type Power Inductor Series SDR0604 Inductance 33µH Tolerance Inductance ± 10% Resistance 0.25ohm Current 0.6 Max 1.1A Frequency Resonant 1MHz Case Style 0604 G Package 25 Material Core Ferrite DR  
Индуктивность индуктивности 33 мкГн Номинальный ток 600 мА Малые габаритные размеры наiformованные наiformованные SMD  
тип индуктивности

**Технические параметры**

Тип	SDR
Номинальная индуктивность, мкГн	33
Точность индуктивности, %	5.825 804 8
Допуск индуктивности, %	10
Длина, мм	6.8
Диаметр, мм	3
Ширина, мм	Для поверхностного монтажа

**Дополнительная информация**  
SDR0604-330KL 0.25ohm

Рис. 6.3. Катушка индуктивности для поверхностного монтажа

## Индуктивность и радиолюбители

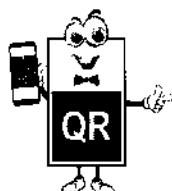
В далеком 1949 году радиолюбители мотали катушки индуктивности самостоятельно. Но и в наши дни, похоже, этого не избежать, если вы склонны к экспериментам.



*Полюбопытствуйте, интересное использование катушки индуктивности. Если не практическое применение, то для демонстраций то, что надо.*



Позже мы поговорим о кодовом замке. Его можно использовать только совместно с обычным замком, но снабженным соленоидом. Последний не более, чем катушка индуктивности, которая используется для преобразования электрического тока в механическое перемещение. Бродя по Интернету, я наткнулся на похожее, но весьма оригинальное использование индуктивности.



*Эта конструкция может найти и практическое применение. Необычный фонарик без батареек. Интересен применением индуктивности.*



### 760308100110, Катушка для зарядки, беспроводной, Серия WE-WPCC, 24 мкГн, $\pm 10\%$

Идентификатор: 52C8472277  
Артикул: 760308100110  
Наименование: Катушка для зарядки



1 330 руб.

в 288 шт. по цене: 4,61 руб.  
всего 1303,28 руб.

от 2 шт. — 1 270 руб.  
от 5 шт. — 1 190 руб.

Добавить в корзину, 1 шт. на сумму 1 330 руб.

**В корзину**



Катушка индуктивности для зарядки беспроводной

Описание Сроки доставки

Расширение Коэффициент Индуктивности Катушки Зарядки

Технические параметры

Индуктивность	24мкГн
Доп.об.Индуктивности	± 10%
Типовая Температура	Серия WE-WPCC
Код	4 536

Дополнительная информация

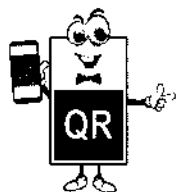
ИД: 760308100110

ИД: Артикул: 760308100110

Рис. 6.4. Катушки для зарядки

Совершенствование технологии сегодня вызывает и восхищение, и удивление — насколько люди «на выдумки хитры». Заглянем в раздел индуктивностей еще раз. В тот раздел, который обозначен как катушки для зарядки (рис. 6.4).

А мы давно знали, что между двумя катушками индуктивности, расположенными рядом, есть связь. На этом принципе работают и все трансформаторы. Но заряжать телефонный аппарат, используя этот принцип, — до этого надо же было додуматься! Додумались, и вы сегодня можете купить подходящую катушку, чтобы создать самостоятельно зарядное устройство без проводов. В качестве примера разумного использования такой конструкции, можете посмотреть видео и прочитать статью, перейдя по ссылке QR кода.



*Новомодное течение — зарядка смартфона без проводов. Но не только смартфона. Возможно и такое использование беспроводной зарядки.*



## Программа моделирования и реальное устройство

Я уже рассказывал, что узнал много нового для себя, когда перевел руководство к программе QucsStudio. Приведу рисунок из рассказа о разработке реального устройства в этом руководстве (рис. 6.5).

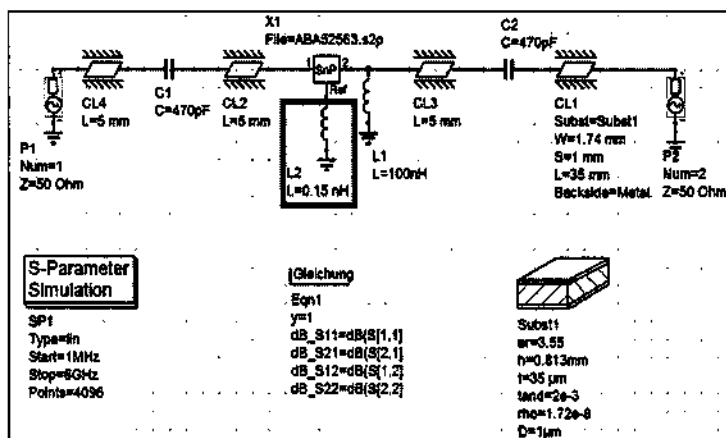
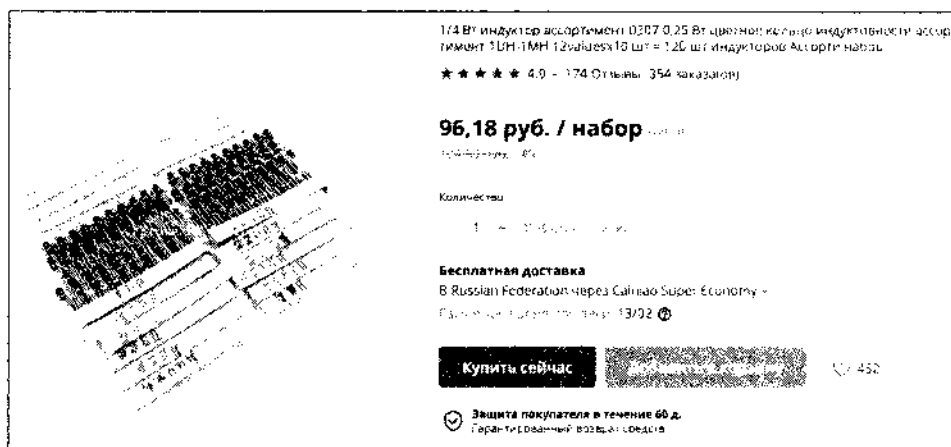


Рис. 6.5. Моделирование устройства в QucsStudio

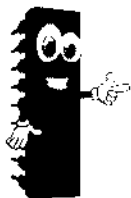


**Рис. 6.6.** Набор индуктивностей на Алиэкспресс

Индуктивность, отмеченная на рис. 6.5, это не что иное, как переходные отверстия в плате толщиной 1 мм. И такие индуктивности, оказывается, бывают.

Если вы намерены создавать свои радиоэлектронные устройства, экспериментировать с готовыми схемами или просто человек запасливый, можно купить набор индуктивностей, это не так дорого, но всегда пригодится (рис. 6.6).

Однако на все случаи жизни не напасешься, поэтому за единственной катушкой индуктивности, когда она понадобилась, а под рукой ее нет, я предпочитаю поехать в магазин.



## ПРИЗОВЕМ НА ПОМОЩЬ СПРАВОЧНИК.

Перед тем как отправиться в магазин, полезно поискать в справочнике, какие параметры имеют индуктивности, и все ли мы про нужную индуктивность выяснили [16].

**Индуктивность** (или коэффициент самоиндукции) в Википедии определяется как коэффициент пропорциональности между электрическим током, текущим в каком-либо замкнутом контуре, и полным магнитным потоком, называемым также потокосцеплением, создаваемым этим током через поверхность, краем которой является этот контур.

Индуктивность является электрической инерцией, подобной механической инерции тел. А вот мерой этой электрической инерции как свойства проводника может служить ЭДС самоиндукции. Характеризуется свойством проводящего контура противо-

действовать появлению, прекращению и всякому изменению электрического тока в нем.

При заданной силе тока в проводнике индуктивность определяет энергию магнитного поля, создаваемого этим током:

$$W = LI^2/2$$

Основная единица измерения индуктивности генри (Гн), используют в тысячу раз меньшую единицу миллигенри (мГн) и еще в тысячу раз меньше, микрогенри (мкГн). Единица измерения названа в честь американского ученого Джозефа Генри, открывшего явление самоиндукции.

## || Классификация катушек индуктивности

Хотя индуктивностью обладает обычный проводник, по которому протекает ток, на практике применяют катушки индуктивности, а индуктивность проводников может учитываться, например, при исследовании распределенных параметров линий связи.

Катушки индуктивности в общем случае классифицируют по ряду признаков [16].

**По конструкции:** однослойные, многослойные, на каркасах, бескаркасные, с сердечником, без сердечника, экранированные и неэкранированные; различают низкочастотные и высокочастотные катушки индуктивности.

**По назначению:** контурные, катушки связи, вариометры, дроссели низкой частоты, дроссели высокой частоты.

## || Маркировка катушек индуктивности

Для маркировки катушек индуктивности используют как буквенно-цифровой код, так и цветовую маркировку.

При буквенно-цифровой кодировке первые две цифры могут указывать индуктивность катушки в микрогенри, последняя количество нулей. Завершающая буква указывает допуск.

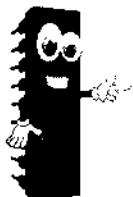


### ПРИМЕР.

**680K** — это 68 мкГн, количество нулей ноль, допуск  $\pm 10\%$ .

**471j** — маркирует индуктивность в 470 микрогенри, поскольку количество нулей равно единице, а допуск  $\pm 5\%$ .

Для индуктивностей меньше одной микрогенри используют префикс R, за которым следуют две цифры значения, а последняя буква обозначает допуск.



### ПРИМЕР.

*R10M – 0,10 мкГн ±20%.*

Для индуктивностей меньше 10 мкГн буква R используется вместо запятой в десятичном числе: *2R2K* маркирует индуктивность 2,2 мкГн ±10%.

Цветовая маркировка может иметь три или четыре метки.

Цветовая маркировка при четырех цветных полосах

Таблица 6.1

Цвет полоски	Номинальная индуктивность, мкГн			Последняя, допуск, %
	Первая метка	Вторая метка	Множитель	
Серебристый	–	–	0,01	± 10
Золотистый	–	–	0,1	± 5
Черный	–	0	1	± 20
Коричневый	1	1	10	–
Красный	2	2	100	
Оранжевый	3	3	1000	
Желтый	4	4	–	
Зеленый	5	5		
Голубой	6	6		
Фиолетовый	7	7		
Серый	8	8		
Белый	9	9		



*Калькулятор цветовой маркировки индуктивностей, которым удобнее, наверное, пользоваться, чем таблицами.*





## Основные электрические параметры катушек индуктивности

Основными электрическими параметрами катушек индуктивности являются индуктивность, собственная емкость, активное сопротивление и добротность, дополненные температурным коэффициентом индуктивности.

**Индуктивность** катушки зависит от характера намотки, однослойная или многослойная катушка. Для однослойной катушки индуктивности значение этого параметра, в первую очередь, зависит от количества витков и диаметра намотки. Ее можно определить по формуле (результат в мкГн):

$$L = r^2 N^2 / (9r + 10l)$$

где  $r$  — это радиус намотки (внешний),  $N$  — число витков,  $l$  — длина катушки.

Для многослойной катушки можно пользоваться формулой (результат в мкГн):

$$L = 0,8r^2 N^2 / (6r + 9l + 10d)$$

где  $r$  — это средний радиус катушки и добавлена глубина катушки  $d$ .

**Собственная емкость** катушки зависит от способа намотки, а ее **активное сопротивление** — от диаметра провода и длины катушки.



Определение собственной емкости катушки дело не простое, поэтому лучше воспользоваться калькулятором для расчета этой величины.



**Добротность** катушки индуктивности можно определить по формуле:

$$Q = 2\pi FL/R$$

где  $F$  — это частота, а  $R$  — собственное сопротивление катушки.

Для катушек индуктивности, применяемых в преобразователях напряжения, важным параметром будет **допустимый ток**.

**Катушки индуктивности, намотанные на каркасе**, могут иметь сердечник из феррита или другого материала. Каркас выполняется с резьбой по внутренней поверхности, чтобы сердечник, имеющий резьбу, позволял менять индуктивность катушки при вкручивании или выкручивании сердечника.

Благодаря развитию технологии изготовления радиоэлектронных компонентов в последнее время появились **многослойные монолитные катушки индуктивности**.

# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

## Диоды — первенцы полупроводниковой эры

Теперь давайте оговорим об устройстве диода без его разборки. Полупроводниковые диоды, если не ошибаюсь, появились первыми в качестве замены в качестве замены электровакуумных ламп — диодов (рис. 7.1).

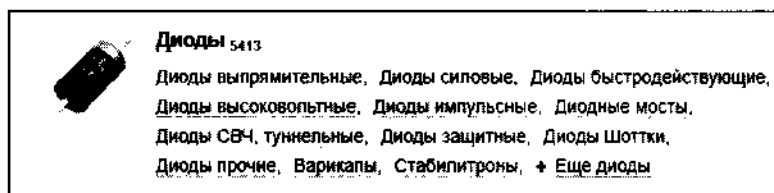


Рис. 7.1. Раздел диодов в магазине «Чип и Дип»

**Радиоловитель:** *Что означает слово «Диод»?*

Диод — это компонент, имеющий два электрода. Такой была электронная лампа, которая тоже, мне кажется, появилась раньше триода. Но настаивать не буду. У радиолампы был анод, был катод. И у полупроводникового диода тоже есть анод и катод. Один из них у диодов отмечают либо полоской, либо точкой. Но производители могут отмечать разные «электроды». Проще всего убедиться «кто есть кто» с помощью мультиметра.

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

*Почти все мультиметры имеют режим измерения полупроводниковых диодов. При одной полярности мультиметр покажет единицу, при обратной полярности подключения щупов покажет сопротивление порядка 700 Ом.*

Если вы готовы поверить на слово, то устройство диода можно представить достаточно удобной картинкой. Вы знаете, надеюсь, что есть два основных типа полупроводников: «п» и «р» типа. В первых наличествуют «бесхозные электроны», которые «бродят» по материалу, не зная, чем себя занять.

А у полупроводников второго типа есть «атомы-ловушки» для электронов. Когда два материала соприкасаются достаточно близко, любопытные электроны переходят из полупроводника п-типа в соседний. И, ловушка захлопнулась, «мышка попалась».

Через некоторое время полупроводник р-типа на границе раздела оказывается заряженным отрицательно, а «осиротевший» материал п-типа заряжен положительно. Естественно, появляется электрическое поле, которое «отпугивает» электроны, не давая им переходить на сторону «противника». Процесс создания диода завершен.

## || Полупроводник «под напряжением»

Если теперь мы приложим ЭДС одной полярности, то поле на границе раздела ослабнет настолько, что электроны смогут его преодолеть. А при смене полярности, скажем, батарейки, поле станет еще сильнее, а ток через диод будет настолько мал, что можно сказать, его и вовсе нет.

Так работает **выпрямительный диод** (рис. 7.2). Для выпрямительных диодов важными параметрами (все параметры важны, но эти особенно) будут:

- допустимый постоянный ток через диод;
- допустимое обратное напряжение.

Блок питания, как правило, не обходился без трансформатора и диодов. У телевизора, например, были обмотки трансформатора и понижающие, и повышающие. Особенно, когда телевизоры стали производить с транзисторами:

- к понижающим обмоткам трансформатора подключали диоды с небольшим обратным напряжением, но достаточно большим допустимым током;

- ♦ к повышающей обмотке трансформатора подключали диоды с большим допустимым обратным напряжением.

Я написал «подключали», но вы не подумайте, что сейчас техника шагнула так далеко, что все делается наоборот. Высокое напряжение в телевизорах или ламповых радиоприемниках нужно было электронным лампам, разновидностью которых можно считать и кинескоп.

### 10A10, Диод 10A 1000В [P-600]

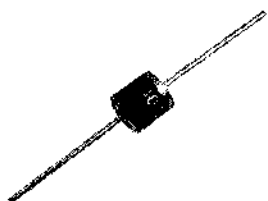

Пол. номер: 9030000843  
Артикул: 10A10  
Производитель: Китай

**21 руб.** ✓ 3187 шт. со склада в Москве

от 50 шт. — 16 руб.  
от 500 шт. — 13 руб.

Добавить в корзину 1 шт. на сумму 21 руб.

**В корзину**

Описание	Сроки доставки	Цена и наличие в магазинах
<b>Технические параметры</b>		
Материал		кремний
Максимальное постоянное обратное напряжение В		1000
Максимальное импульсное обратное напряжение В		1000
Максимальный прямой (выпрямленный за полупериод) ток А		10
Максимально допустимый прямой импульсный ток А		400
Максимальное прямое напряжение В		1
при Iпр А		10
Рабочая температура °С		-65 150
Способ монтажа		в отверстие
Корпус		1 6
Вес, г		2,1

**Техническая документация**

datasheet 10A05 — 10A10  
pdf 54 кБт

Рис. 7.2. Выпрямительный диод

#### ПРИМЕЧАНИЕ.



Транзисторы обходятся без высокого питающего напряжения, а в современных телевизорах повышенное напряжение используется только для питания ламп подсветки ЖК панели, если не используются светодиоды.

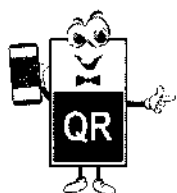
Для питания люминесцентных ламп подсветки используют переменное напряжение величиной около 600—700 вольт и частотой порядка 50 кГц. Получают это напряжение от преобразователя постоянного напряжения в переменное.

В этом смысле значение выпрямительных диодов снижается. Но не телевизорами едиными (и даже не электронными лампами) живет

сегодня радиоэлектроника. И выпрямительные диоды, я думаю, будут использоваться еще долго.

## || Диод как детектор радиосигнала

Разновидность выпрямления переменного напряжения — это **детектирование радиосигнала**. Здесь важной особенностью будет рабочая частота, а неприятным фактором, порог «срабатывания» диода. Большинство современных диодов начинают пропускать ток при падении напряжения на диоде порядка 0,5 вольт. У германиевых диодов этот порог был ниже. Поэтому их лучше применять в приемниках прямого усиления или в устройстве, описанном в статье. Перейдите к ней по указанному рядом QR коду.



*Многим радиолюбителям пригодится полезный индикатор радиосигналов. Его можно усовершенствовать, что тоже интересно.*

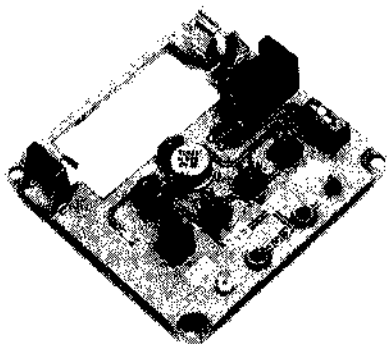


Сегодня купить рекомендуемый диод ГД507 не просто, это так. Но можно купить диод 1N34A, работающий как минимум до 40 МГц, а можно использовать диод Д9, но он работает до частоты порядка 100 кГц. И можно использовать диод Шотки, у которого падение напряжения при открывании 0,2—0,3 вольта.

## || Диод как стабилитрон

Возвращаюсь к **допустимому обратному напряжению**. Если превысить обратное напряжение, то в диоде начинается лавинообразный процесс нарастания тока, который выведет диод из строя.

Но этот эффект, вернее этот и еще один процесс нарастания тока, активно используется в **стабилитронах**. Их свойство — поддерживать напряжение на диоде, когда ток через него увеличивается. Включив последовательно с диодом резистор, можно получить стабилизатор напряжения. Что используется и напрямую, нагрузка включается параллельно диоду, и косвенно, когда стабилитрон используют в качестве опорного напряжения.



**World Chips**

AD594 высокой точности Напряжение Ссылка Модуль 4-канальный работает на 2,5 V/7,5/5B/10B 4,5-30 в

★★★★★ 5,0 - 10 Отзывов 27 заказов(0%)

**347,43 руб.** 354,53 руб. 12%

Скидка при заказе: Скидка 65,43 руб. за заказы 2 551,66 руб. +

Кэшбек: 40,00 руб. за заказы 1 000 руб. Скидка 65,43 руб. с заказов 1 316,34 руб.

Получить купоны

Количество:

1 + Дополнительно заказать: AD594 3 шт. по 347,43 руб. каждый

**Доставка: 154,41 руб.**  
 В Russian Federation через China Post Registered Air Mail -  
 Расчетное время доставки: 10/01 📦

*Рис. 7.3. Источник образцового постоянного напряжения*

Ряд напряжений, поддерживаемый стабилитронами разных моделей, весьма представительен. Выпускают прецизионные стабилитроны, которые используют для поверки измерительных приборов вместо нормальных элементов (рис. 7.3).

## О свойстве диода быть похожим на конденсатор

Еще один пример применения стабилитрона в любительской практике я приводил, когда рассказывал о генераторе частотно-модулированного сигнала (рис. 3.25). Но для этих целей лучше использовать **варикап** (или **варактор**). Свойство диода «быть похожим» на конденсатор обнаруживается уже при рассказе об образовании пограничного слоя, который очень напоминает заряженный конденсатор. При увеличении обратного напряжения этот слой на границе двух полупроводников расширяется за счет внешнего электрического поля. Это напоминает конденсатор с более «толстым» диэлектриком, а емкость конденсатора уменьшается.

Впрочем, я сам этого не видел, не уверен, что и вы это видели, но, купив варикап, вы можете проделать опыты, которые изображены на рис. 3.26. А, если вас, в большей мере, интересует практическое применение варикапа, то стоит задуматься о напряжении, которое прикладывается к варикапу с целью изменения емкости эквивалентного конденсатора.

Самый простой вариант — это источник напряжения с подключением переменного резистора. Благо сейчас в продаже есть прецизионные многооборотные переменные резисторы. А с другой стороны — кто сейчас что-то крутит, настраиваясь на радиостанцию. Нажал кнопку, готово!

Как реализовать такое управление, к этому мы вернемся, возможно, позже.

### Радиоловитель: Варикап и варактор одно и то же?

Я думаю, да, но те, кто применяют их, готовы ратовать за то название, которое им больше нравится. Так, в схемах умножителей частоты предпочитают говорить о **варакторах**. Мне ближе варикап, как переменный конденсатор. Когда-то радиоловители в приемниках прямого усиления применяли керамический конденсатор переменной емкости КПК-2 (рис. 7.4). Емкость такого конденсатора могла меняться от 10 до 100 пФ.

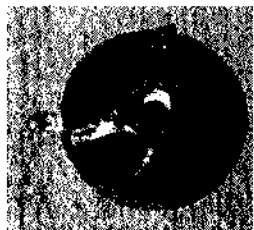


Рис. 7.4. Конденсатор КПК-2

Посмотрим, есть ли варикап с подходящими параметрами... Есть отечественный варикап KB116A, есть импортный варикап ВВУ112. При питании радиоприемника от батарейки «Крона» ими можно было бы заменить КПК-2. Стоит ли это делать, вопрос, над которым стоит подумать, но не сейчас.

## Туннельные диоды

А сейчас вспомним о несколько необычном диоде, который называется туннельный. Есть такое определение этого диода в Википедии.



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

**Туннельный диод** – полупроводниковый диод на основе вырожденного полупроводника, на вольтамперной характеристике которого при приложении напряжения в прямом направлении появляется участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением, обусловленный туннельным эффектом.

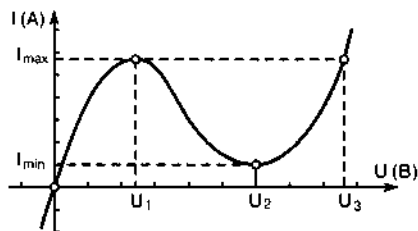


Рис. 7.5. Вольтамперная характеристика туннельного диода

В этой же статье приведена вольтамперная характеристика этого диода (рис. 7.5).

Согласитесь, необычное поведение. Напряжения на участке от  $U_1$  до  $U_2$  растет, а ток через диод падает. Этим эффектом стали пользоваться для создания усилителей, генераторов и высокочастотных переключе-

чателей, работающих до частот порядка сотни гигагерц. В последнее время появились транзисторы с эмиттером, имеющим отрицательное сопротивление.



*Дополнительно о туннельном диоде. Кроме того, в статье вы можете прочитать и об истории создания туннельного диода.*



## Светодиоды

Диоды можно использовать в качестве фотоприемников, датчиков температуры, а особенное внимание в последнее время привлекают светодиоды. Когда-то их использовали в качестве индикаторов, и используют по сей день, но появление сверхъярких светодиодов привело к тому, что сегодня они активно вытесняют все другие источники света.



### ПРИЗОВЕМ НА ПОМОЩЬ СПРАВОЧНИК.

*Понятно, что перенести на несколько страниц книги любой справочник — задача, не имеющая решения. Но познакомить с основными параметрами из справочника, это совсем другое [3, 15].*

## Классификация диодов и система обозначений

Классифицируют полупроводниковые приборы по их назначению, физическим свойствам, основным электрическим параметрам, конструктивно-технологическим признакам, роду исходного полупроводникового материала.

В основу системы обозначений положен **буквенно-цифровой код**:

- первый элемент обозначает исходный полупроводниковый материал;
- второй элемент — буква, обозначающая подкласс прибора;
- третий элемент — цифра, обозначающая основной признак, например, назначение или принцип действия;



- ♦ четвертый элемент — число, обозначающее порядковый номер разработки;
- ♦ пятый элемент — буква, определяющая классификацию прибора по параметрам.

Маркировка вводится для собственно диодов, выпрямительных столбов и блоков, варикапов, туннельных диодов, сверхвысокочастотных диодов, стабилитронов, генераторов шума, излучающих оптоэлектронных приборов.

Так, для обозначения исходного материала используются следующие символы:

- ♦ Г или 1 — для германия или его соединений;
- ♦ К или 2 — для кремния или его соединений;
- ♦ А или 3 — для соединений галлия;
- ♦ И или 4 — для соединений индия.

Для обозначения подклассов приборов используют:

- ♦ Д — для диодов выпрямительных, импульсных, магнитодиодов, термодиодов;
- ♦ Ц — для выпрямительных столбов и блоков;
- ♦ В — для варикапов и т. д.

## Основные электрические параметры выпрямительных диодов

Приведу рабочие параметры:

- ♦ постоянное прямое напряжение (при заданных температуре и токе);
- ♦ постоянный обратный ток (при заданном обратном напряжении);
- ♦ импульсное прямое напряжение (при заданном токе);
- ♦ время обратного восстановления (при заданном прямом токе и обратном напряжении);
- ♦ общая емкость (при заданном обратном напряжении).

А теперь представлю предельные эксплуатационные данные:

- ♦ постоянное обратное напряжение (при заданной температуре);
- ♦ импульсное обратное напряжение (при заданной температуре);
- ♦ импульсный прямой ток;
- ♦ средний выпрямленный ток (на заданной частоте);
- ♦ тепловое сопротивление переход-среда;
- ♦ средняя рассеиваемая мощность;
- ♦ температура окружающей среды.

## Сравнение параметров двух диодов

Программы моделирования работают с зарубежными полупроводниковыми приборами, что вызывает вопросы у пользователей, которые пытаются моделировать отечественные схемы: чем можно заменить...

**Во-первых**, следует проанализировать схему, выяснить, какие параметры требуются от конкретного диода. **Во-вторых**, можно поискать отечественный аналог. В качестве примера сравним параметры диода 1N4001 и КД226А (табл. 7.1).

*Сравнение двух диодов зарубежного  
и отечественного производства*

Таблица 7.1

Диод	$U_{обр.}$ , В	$I_{пр.макс.}$ , А	$I_{обр.макс.}$ , мА	$F_{макс.}$ , кГц
1N4001	50	1	5	—
КД226А	100	2	10	50

## SMD диоды

Разнообразие типов и видов диодов, большое количество производителей — все это мешает дать короткую справку по их маркировке и типоразмерам, как обычных диодов, так и диодов для поверхностного монтажа. Ограничимся примерами. Внешний вид диодов для поверхностного монтажа представлен на рис. 7.6. А некоторые виды маркировки SMD диодов сведены в табл. 7.2.

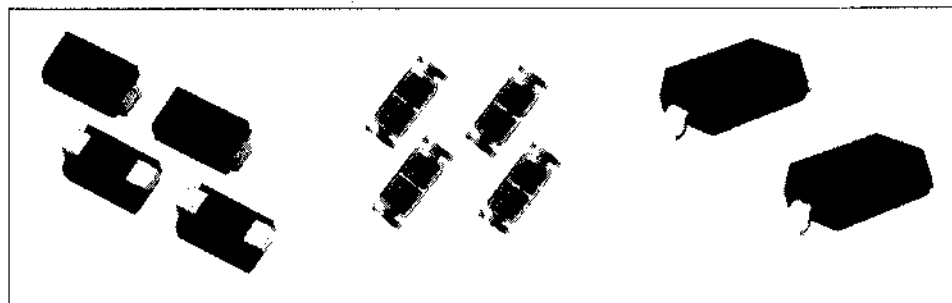


Рис. 7.6. Внешний вид часто встречаемых диодов

Некоторые виды маркировки SMD диодов

Таблица 7.2

Диоды в цилиндрическом корпусе	Цветовая маркировка, полоски у катода	Диоды в корпусе SOD-123	Цветовая маркировка, полоска у катода	SMD диоды, включая диоды Шотки	Символьная маркировка
BAS32, BAS45, BAV105, LL4148, 50, 51, 53, LL4448, BB241, BB249	черный	BA620, BB620	красный	BAS16	JU/A6
LL4150, BB219	черный и оранжевый	BA619, BB619	желтый	BAS21	JS
LL300	коричневый и зеленый	BA585	зеленый	BAV70	JJ/A4
LL4448	коричневый и черный	BA582, 583, 584	голубой	BAV99	JK; JE; A
BA682	красный	BA512, 515, BB515, 811	белый	BAW56	JD; A1
BA683	красный и оранжевый	-	-	BAT54S1	L44
BA423L	красный и зеленый			BAT54C1	L43
LL600	красный и белый			BAV23S	L31
LL3595	оранжевый и белый			-	-
BZV55, BZV80, BZV8	желтый				

## Транзисторы – самые активные из активных элементов

Транзистор до недавнего времени был самым активным из активных элементов электрической цепи (рис. 7.7).

Но позже развитие технологии заточило транзистор «со товарищи» в глухую темницу, которую называли **микросхемой**. Сегодня, казалось бы, не обязательно рассматривать параметры транзистора для своей разработки, достаточно выбрать подходящую микросхему: цифровую или аналоговую. Но не будем спешить, чтобы не попасть впросак, как

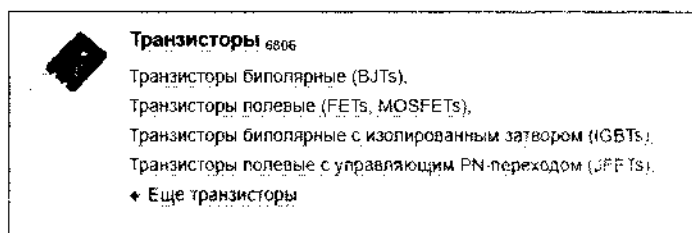


Рис. 7.7. Транзисторы в магазине «Чип и Дип»

это было со мной. Напомню, посмотрите **рис. 2.50**. Чтобы подключить светодиод к выходу микросхемы, потребуется что-то придумать.

**Радиолюбитель:** *Зачем нужно что-то придумывать, разве недостаточно резистора?*

Нагрузочная способность выхода микросхемы порядка 500 мкА. Для светодиода нам для хорошего свечения хотелось бы выбрать ток 10–20 мА. Куда же без транзистора, а добавьте, что не всегда одну микросхему можно «запихнуть» в другую. Приходится волей-неволей перешагнуть порог темницы, чтобы посмотреть, кто там внутри.

## Составные транзисторы

**Радиолюбитель:** *Что за биполярный транзистор IGBT?*

Это биполярный транзистор в паре с полевым транзистором в одном корпусе. Очень полезная получилась конструкция. Управляется он, как и полевой транзистор, напряжением (полевой транзистор на входе), а включается, как и биполярный транзистор, очень хорошо, обеспечивая низкое напряжение между эмиттером и коллектором.

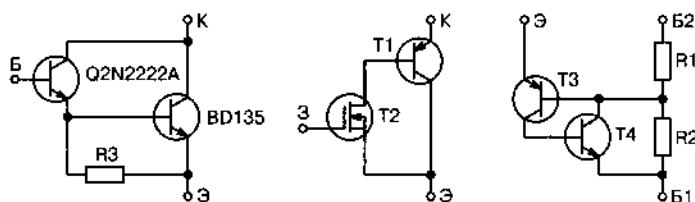


Не обязательно, но полезно познакомиться со статьей о IGBT транзисторах. Знания никогда не бывают лишними. Пригодится не сегодня, так завтра.



Составные транзисторы стали применять довольно давно (**рис. 7.8**).

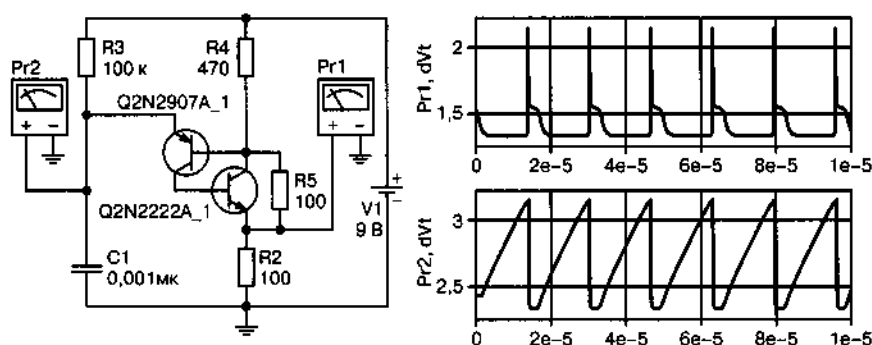
У **составного транзистора по схеме Дарлингтона** коэффициент Вст почти равен произведению коэффициентов каждого из тран-



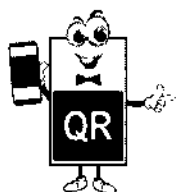
**Рис. 7.8.** Составные транзисторы:

а – схема Дарлингтона; б – транзистор IGBT (упрощенная эквивалентная схема);  
в – эквивалентная схема однопереходного транзистора

зистора, что, скажем мягко, любопытно! Использование преимуществ полевого транзистора (управление напряжением) и биполярного транзистора (маленькое напряжение насыщения), скажем, разумно! Но в списке транзисторов, **рис. 7.7**, нет однопереходного транзистора, а в продаже он есть, это КТ117. Посмотрим, используя эквивалентную схему, простейшее использование этого транзистора (**рис. 7.9**).



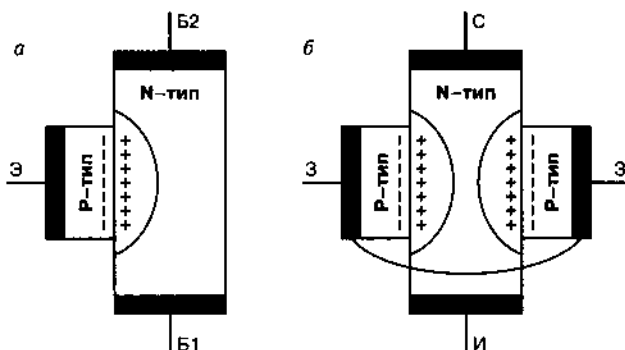
**Рис. 7.9.** Схема генератора на эквиваленте транзистора КТ117



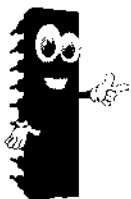
Даже без намерений применить на практике, вы можете больше узнать об однопереходном транзисторе.



Интересно посмотреть на структуру однопереходного транзистора, сопоставив ее со структурой полевого (канального) транзистора (**рис. 7.10**).



**Рис. 7.10.** Структура двух типов транзисторов:  
а – однопереходный транзистор; б – канальный (полевой) транзистор



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Структурная схема однопереходного транзистора навеивает мысли о том, что его создали при неудачной попытке изготовить полевой (канальный) транзистор, хотя кто навеивает такие мысли, зачем, не знаю.*

В обширном семействе полевых транзисторов есть сильные конкуренты для IGBT-транзисторов, это **IRF-транзисторы**. Они могут в импульсе пропускать ток до 250 А, иметь сопротивление канала до 0,002 Ом, у них изолированный затвор, а, следовательно, все преимущества полевых транзисторов с изолированным затвором.

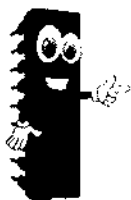
Как для биполярных транзисторов важным параметром является Вст, так для полевого транзистора важна крутизна  $S$ :

$$S = y_{21} = \Delta I_c / \Delta U_{зи}$$

Измеряют параметр при коротком замыкании выхода для переменного тока. Крутизна имеет простой смысл, заложенный в размерности мА/В. Она показывает, на сколько миллиампер меняется ток через транзистор при изменении напряжения на затворе относительно истока на один вольт.

## Освещаем переходы транзистора

В рассказе о диодах был упомянут **фотодиод**. Освещение перехода диода сказывается на его состоянии. Даже с диодом Д9, у которого был стеклянный корпус, можно было провести такой опыт. Но у транзистора тоже есть переход, и не один. При освещении кристалла транзистора ток коллектора получается значительно больше, чем у диода. Поэтому фототранзистор оказывается более удобным фотоэлементом во многих случаях. В частности, фототранзистор появился в оптопарах, где со временем появились и другие фотоприемники, изготовленные, например, на базе тиристоры.



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

**Оптопара или оптрон** — это сочетание светоприемного элемента и фотоприемника в одном корпусе.

**HCPL-3150-000E, Оптопара с логическим выходом, драйвер IGBT [DIP-8]**

Наличие: 960001307  
Артикул: HCPL 3150 000E  
Производитель: Broadcom Limited

**130 руб.** ✓ 2 шт. со склада в Москве

от 20 шт. — 118 руб.  
от 200 шт. — по запросу

Добавить в корзину 0 шт. на сумму 0 руб. **В корзину**

Описание    Срок доставки    Цена и наличие в магазинах

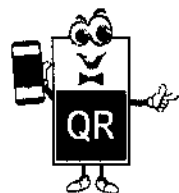
The HCPL-3150-000E is a 0.5A output current IGBT Gate Drive Optocoupler consists of a LED optically coupled to an integrated circuit with a power output stage. This optocoupler is ideally suited for driving power IGBTs and MOSFETs in motor control inverter applications. The high operating voltage range of the output stage provides the drive voltage required by gate controlled devices. The voltage and current supplied by this optocoupler makes it ideally suited for directly driving IGBTs with ratings up to 1200V/50 A. For IGBTs with taper ratings, it can be used to drive a discrete power stage which drives the IGBT gate.

**Рис. 7.11. Оптопара HCPL-3150-000E**

Важным параметром оптопары является допустимое напряжение между входными и выходными выводами (рис. 7.11).

На рис. 7.11 плохо видно описание этого прибора, поэтому приведем его дополнительно. **HCPL-3150-000E** — это опторазвязка с выходным током 0,5 А для управляемого напряжением IGBT транзистора; оптопара содержит светодиод, оптически связанный с интегральной схемой, у которой мощный выходной каскад. Эта оптическая развязка идеально подходит для управления мощными IGBT и MOSFET транзисторами, используемыми в схемах с моторами инверторов. Высокое рабочее напряжение выходного каскада поддерживает напряжение, требуемое для устройств управления. Напряжение и ток такой оптопары делают ее идеальным решением для прямого управления IGBT с диапазоном до 1200 В/50 А. Для IGBT с более широким диапазоном рабочих параметров, оптопара может использоваться в качестве управляющего компонента для отдельного каскада, который будет управлять IGBT вентилем.

Эта изоляция входа от выхода сыграла большую роль в изготовлении медицинского оборудования.



Не так часто вы используете оптрона. Это так. Но познакомиться с ними полезно. Дополнительная информация об оптроне.

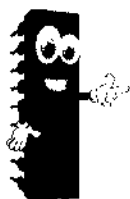


Но не только медицинское оборудование, где появилась возможность использовать многие схемные решения без опасности для больных, использует оптопары. Похожие принципы стали использовать и для изоляции линий передачи данных от приемных устройств, где высокие частоты позволяют использовать другие схемные решения.

Схем на транзисторах столь много, что бессмысленно пытаться о них говорить в одной главе. Для начинающих радиолюбителей очень полезно разбираться в этих схемах, стараясь понять не только назначение компонентов, но их значения. А опытные радиолюбители стараются найти все новые и новые применения транзисторам.



*Транзистор оказывается весьма универсальным прибором. Интересная заметка о замене варикапа транзистором.*



### ПРИЗОВЕМ НА ПОМОЩЬ СПРАВОЧНИК.

*Или сделаем вид, что призовем. Я не знаю, есть ли полная информация о моделях транзисторов, которые можно обнаружить в нашей стране [2].*

## Классификация и система обозначений

Транзисторы удобно разделить на несколько групп: биполярные транзисторы, полевые транзисторы, комбинированные транзисторы и транзисторы специального назначения.

Классифицируют транзисторы по: назначению, физическим свойствам, основным электрическим параметрам, конструктивно-технологическому исполнению, по роду исходного полупроводникового материала.

В основу системы обозначений отечественных приборов положен буквенно-цифровой код.

**Первый элемент** обозначает исходный полупроводниковый материал. **Второй элемент** — буква, определяющая подкласс транзистора. **Третий** — цифра, определяющая основные функциональные возможности, как то: допустимая рассеиваемая мощность, граничная рабочая частота. **Четвертый символ** — это число, обозначающее порядковый номер разработки. **Пятый** — буква, определяющая классификацию по параметрам транзисторов, изготовленных по единой технологии.





### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Для обозначения исходного полупроводникового материала используют те же символы, что и для диодов. Для подклассов используют «Т» для биполярных транзисторов и «П» для полевых.*

**Остальные элементы кода** разделяют транзисторы на: маломощные низкочастотные, среднечастотные, высокочастотные; транзисторы средней мощности с аналогичным делением по частоте; транзисторы большой мощности от низкочастотных до высокочастотных.

Транзисторы разделяют еще по **назначению**: усилительные, генераторные, переключательные, импульсные и универсальные.

В свою очередь, полевые транзисторы делят на три группы: усилительные, генераторные, переключательные; и на группы с затвором на основе р-п перехода, с изолированным затвором, работающие в режимах обеднения и обогащения.

## Основные электрические характеристики биполярных транзисторов

Эти характеристики рассмотрим на примере хорошо известного транзистора КТ315. Это кремниевый, эпитаксиально-планарный п-р-п транзистор, маломощный высокочастотный усилительный.

### Электрические параметры:

- ♦ граничное напряжение при токе  $I_z = 5$  мА не менее (для разных подмоделей) 15—30 В;
- ♦ напряжение насыщения коллектор-эмиттер при токе  $I_k = 20$  мА не более 0,4—1 В;
- ♦ напряжение насыщения база-эмиттер при  $I_k = 20$  мА,  $I_b = 2$  мА не более 0,9—1,5 В;
- ♦ статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером 20—250;
- ♦ постоянная времени цепи обратной связи на высокой частоте не более 1000 нс;
- ♦ модуль коэффициента передачи тока на частоте 100 МГц не менее 2,5;
- ♦ емкость коллекторного перехода не более 10 пФ;
- ♦ входное сопротивление при  $U_{к-э} = 10$  В,  $I_k = 1$  мА не менее 40 Ом;
- ♦ выходная проводимость при  $U_{к-э} = 10$  В,  $I_k = 1$  мА не более 0,3 мкСм;

- ♦ обратный ток коллектора при  $U_{к-б} = 10 \text{ В}$  не более  $1 \text{ мкА}$ ;
- ♦ обратный ток коллектор-эмиттер при  $R_{б-э} = 10 \text{ кОм}$ ,  $U_{к-э} = U_{к-э.макс}$  не более  $100 \text{ мкА}$ ;
- ♦ обратный ток эмиттера при  $U_{б-э} = 5 \text{ В}$  не более  $50 \text{ мкА}$ .

**Предельные эксплуатационные данные:**

- ♦ постоянное напряжение коллектор-эмиттер при  $R_{б-э} = 10 \text{ кОм}$  (разное для разных подмоделей)  $15\text{--}60 \text{ В}$ ;
- ♦ постоянное напряжение база-эмиттер  $6 \text{ В}$ ;
- ♦ постоянный ток коллектора  $50\text{--}100 \text{ мА}$ ;
- ♦ постоянная рассеиваемая мощность коллектора при  $T = 213\text{--}298 \text{ К}$   $100\text{--}150 \text{ мВт}$ ;
- ♦ температура перехода  $393 \text{ К}$ ;
- ♦ температура окружающей среды  $213\text{--}373 \text{ К}$ .

## **Основные электрические характеристики полевых транзисторов**

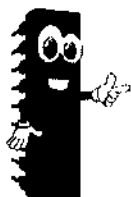
**Электрические характеристики** полевых транзисторов несколько отличаются от их биполярных собратьев. Рассмотрим их на примере транзистора КП305, кремниевый диффузионно-планарный транзистор с изолированным затвором и каналом n-типа:

- ♦ коэффициент шума при  $U_{с-и} = 15 \text{ В}$ ,  $I_c = 5 \text{ мА}$ ,  $f = 250 \text{ МГц}$  — не более  $7,5 \text{ дБ}$ ;
- ♦ коэффициент усиления по мощности при  $U_{с-и} = 15 \text{ В}$ ,  $I_c = 5 \text{ мА}$ ,  $f = 250 \text{ МГц}$  — не менее  $13 \text{ дБ}$ ;
- ♦ крутизна характеристики при  $U_{и-с} = 10 \text{ В}$ ,  $I_c = 5 \text{ мА}$ ,  $T = 298 \text{ К}$  (различается по подмоделям и температуре) —  $4\text{--}10 \text{ мА/В}$ ;
- ♦ напряжение затвор-исток при  $U_{с-и} = 10 \text{ В}$ ,  $I_c = 5 \text{ мА}$  (различно по подмоделям) —  $0,2\text{--}2 \text{ В}$ ;
- ♦ напряжение отсечки при  $U_{с-и} = 10 \text{ В}$ ,  $I_c = 0,01 \text{ мА}$  — не менее  $6 \text{ В}$ ;
- ♦ ток утечки затвора при  $U_{с-и} = 0 \text{ В}$ ,  $U_{з-и} = -30 \text{ В}$  — не более (для разных подмоделей)  $5 \times 10^{-3}\text{--}1,0 \text{ нА}$ ;
- ♦ емкость входная при  $U_{с-и} = 10 \text{ В}$ ,  $I_c = 5 \text{ мА}$  — не более  $5 \text{ пФ}$ ;
- ♦ емкость проходная при  $U_{с-и} = 10 \text{ В}$ ,  $I_c = 5 \text{ мА}$  — не более  $0,8 \text{ пФ}$ ;
- ♦ выходная проводимость типовая при  $U_{с-и} = 10 \text{ В}$ ,  $I_c = 5 \text{ мА}$  —  $150 \text{ мкСм}$ ;
- ♦ остаточный ток стока при  $U_{с-и} = 10 \text{ В}$ ,  $U_{з-и} = 10 \text{ В}$  —  $1 \text{ мкА}$ .

**Предельные эксплуатационные данные:**

- ♦ напряжение сток-исток —  $15 \text{ В}$ ;
- ♦ напряжение затвор-сток (различается по подмоделям) —  $\pm 15\text{--}\pm 30 \text{ В}$ ;

- ♦ напряжение затвор-исток (различается по подмоделям) —  $\pm 15 \dots \pm 30$  В;
- ♦ напряжение сток-подложка — 15 В;
- ♦ ток стока — 15 мА;
- ♦ рассеиваемая мощность (зависит от температуры) — 50...150 мВт;
- ♦ температура окружающей среды — 213...398 К.



### СОВЕТ.

*Далеко не все транзисторы имеют столь подробные характеристики. Для получения данных о зарубежных транзисторах следует обратиться к их сопроводительной документации (datasheet).*

## SMD транзисторы

Корпуса SMD транзисторов различаются и по форме, и по количеству выводов (рис. 7.12).

Маркировка транзисторов — это вопрос разных стандартов и разных производителей. Ограничимся примерами.

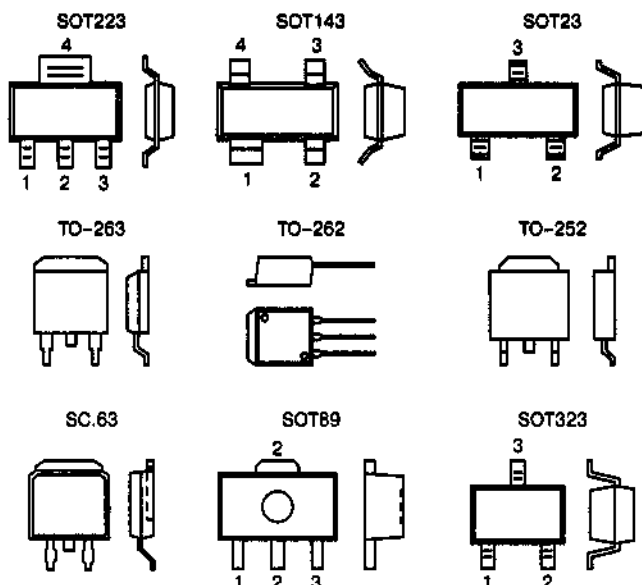
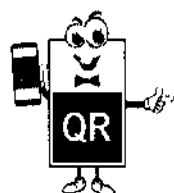


Рис. 7.12. Корпуса SMD транзисторов

Пример маркировки SMD транзисторов

Таблица 7.3

Маркировка	Корпус	Транзистор	Производитель
1S	SOT-23	MMBT3960	Motorola
1A	SOT-23	BC846A	Taitron
1D	SOT-23	BC846	NXP
1Y	SOT23	MMBT3903	Samsung
2K	SOT23	FMMT4402	Zetex
RF	SOT-89	2SC3357	NEC
RFs	SOT-23	BFR181	Infineon
J3	SOT-23	S9013	BL Galaxy Electrical
J3	SOT323	S9013W	BL GalaxyElectrical



Немного облегчить работу по расшифровке маркировки поможет таблица маркировки SMD полупроводниковых приборов.



## Многослойные полупроводниковые приборы

Открытие первого полупроводникового «бутерброда», диода, достаточно быстро привело к открытию полупроводникового «сэндвича», транзистора. Но и это оказалось не пределом изобретательности ученых и инженеров (рис. 7.13).

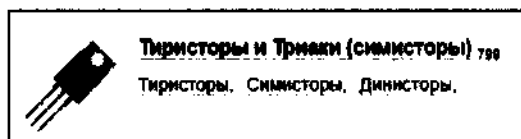


Рис. 7.13. Многослойные полупроводниковые приборы

Первым многослойным полупроводниковым прибором, с которым познакомились любители, скорее всего, был **динистор** (или **диак**). Структуру динистора можно описать так:

p-n-p-n.

Поскольку динистор имеет два электрода, подключенных к первому p-слою и последнему n-слою, то его можно считать **диодом с анодом и катодом**. Так его и изображают, но часто добавляют что-то в графическое представление, чтобы показать, что это особенный диод (рис. 7.14).

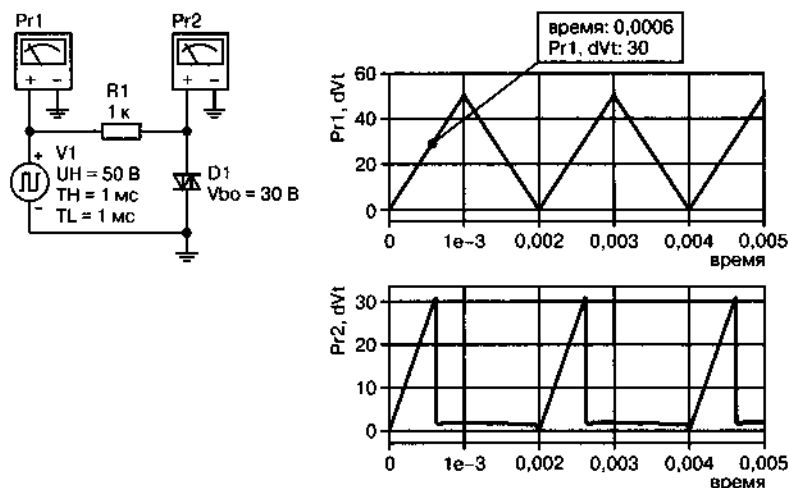


Рис. 7.14. Опыт с динистором и генератором треугольного напряжения

Пока напряжение на динисторе меньше 30 вольт, он не реагирует ни на что. Но если напряжение стало больше, динистор открывается и остается открытым до момента, когда напряжение стало равно нулю.

## Тиристор — многослойный полупроводниковый прибор с управляющим электродом

Я не знаю как другие, но я познакомился с динистором в схеме, где он помогал другому многослойному полупроводниковому прибору регулировать температуру паяльника. Его напарник, **тиристор**, отличается наличием еще одного вывода от слоев полупроводника, от предпоследнего р-слоя, образуя с предыдущим и последующим слоем обычный п-р-п транзистор. Поэтому у тиристора есть управляющий электрод. Под действием напряжения на этом электроде (или тока через последний р-п переход) тиристор открывается. Но закрывается он, как и динистор, когда напряжение на нем становится равным нулю или близким к нему (рис. 7.15).

Пока напряжение на управляющем электроде не достигнет величины, обеспечивающей ток открывания тиристора, он остается закрытым, а напряжение на нагрузке будет равно нулю (момент времени 0,78 миллисекунд). Когда ток достигает необходимого уровня для открывания тиристора, он открывается, напряжение на нагрузке становится близким к начальному напряжению на тиристоре. И тиристор остается открытым до тех пор, пока напряжение на нем не станет равно нулю (момент времени 4 миллисекунды).

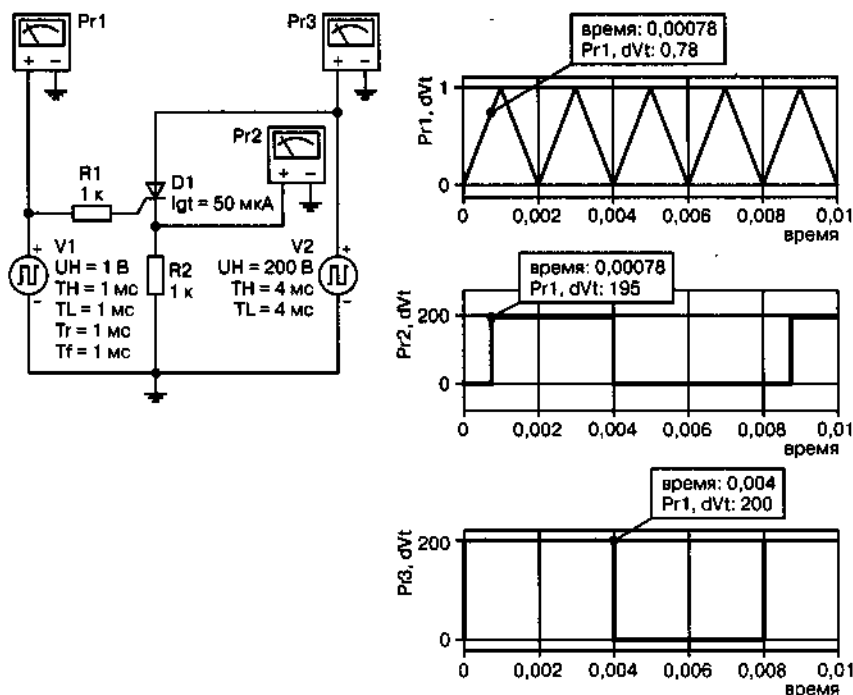


Рис. 7.15. Повторение опыта, но с тиристором и генератором треугольного напряжения

**Радиолюбитель:** Напряжение на управляющем электроде 0,78 вольт, а сопротивление 2 кОм. Ток через управляющий электрод 39 мА, а не 50 мкА. Почему?

Управляющий электрод и катод тиристора представляют p-n переход. А переход открывается при напряжении близком к 0,5–0,7 вольт. Вычтем 0,7 В из 0,78 В и получим ток порядка 40 мкА, что учитывается, видимо, при моделировании работы тиристора.

Сказав, что познакомился с динистором и тиристором в схеме управления мощностью в нагрузке (так я бы назвал схему регулятора для паяльника), я немного лукавлю. Познакомился я со схемой, но пойти купить в магазин радиотоваров подходящий динистор или тиристор, такого я не помню, это не сегодняшние магазины. Схема была похожа на ту, что на рис. 7.16.

Задержка включения тиристора на время заряда конденсатора C1 до напряжения включения динистора D4 снижает среднее значение переменного напряжения, «отсекая» часть тока в нагрузке. Соответственно снижается мощность паяльника. Многие «знатоки» осуждают такое использование схемы, но она была очень популярна.

Более того, много позже я встречал подобную схему, правда, использующую **триак** (он же симистор) в очень дорогостоящем оборудовании, купленном в США, для управления светом. Использование триака обусловлено тем, что выпрямительный мост в схеме (рис. 7.16) явная «недоработка». Симистор позволяет повторить схему без использования выпрямительного моста (рис. 7.17).

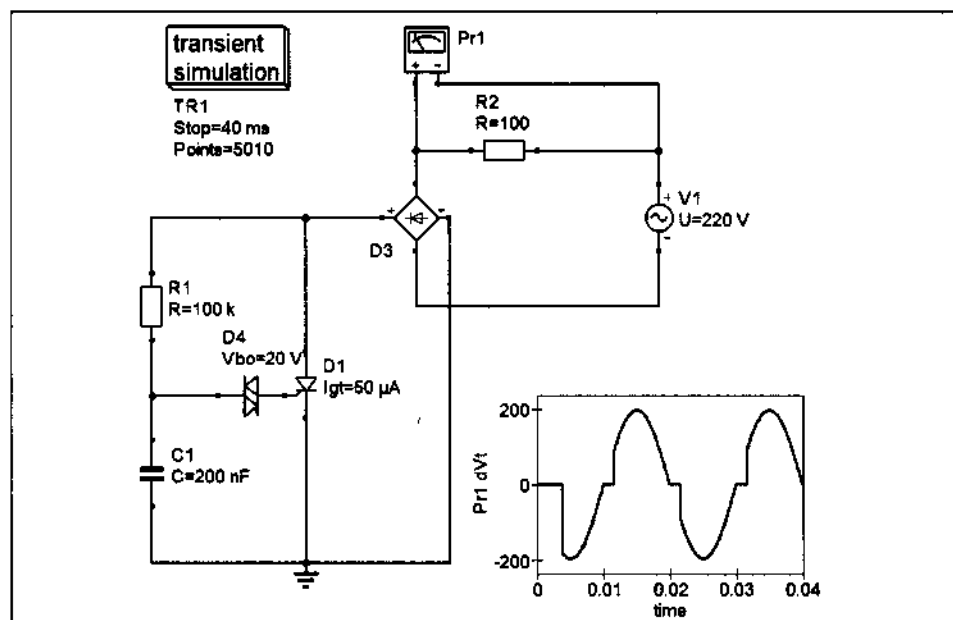


Рис. 7.16. Схема управления мощностью в нагрузке

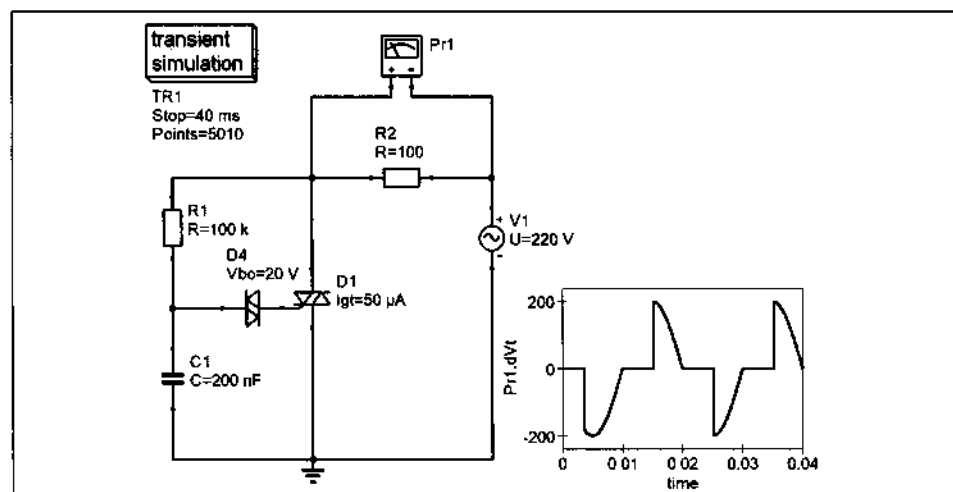


Рис. 7.17. Схема управления напряжением в нагрузке с симистором


# КОММУТАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

То, о чем  
часто забываешь

Если вы найдете в представленном списке что-то, что вам покажется ненужным в радиолюбительском хозяйстве, вы меня очень удивите (рис. 8.1).


Это не полное представление компонентов, все не поместились в окне браузера. И не следует думать, что это мелочи, а говорить следует о новых микросхемах, о передовых схемных решениях. Ни одна схема, пожалуй, не обходится без выключателя или переключателя.

**Кнопки, переключатели, разъемы, реле** 18173




**Разъемы** 8040

Высокочастотные разъемы, Разъемы штыревые и гнездовые, Разъемы Video, Разъемы TV, Разъемы CENTRONIC, Разъемы D-SUB и корпуса для них, Разъемы IDC, Разъемы DIP на шлейф, Разъемы DIN, Разъемы для мобильных телефонов, Разъемы USB FireWire, Промышленные разъемы, Разъемы питания, Разъемы питания DC, Слоты и евро-разъемы, Разъемы Audio Jack, Разъемы RCA, Разъемы XLR, Разъемы Banana, Разъемы FDC, Разъемы телефонные и сетевые (LAN), + Еще разъемы




**Реле** 2591

Реле электромагнитные, Реле твердотельные, Реле герметичные, Герконы, Контакторы, Аксессуары для реле, Аксессуары для коммутационного реле, Реле времени, Реле времени механические для электротехнических устройств, Реле времени цифровые, Реле импульсные, Реле коммутационные, Реле контроля фаз, Реле напряжения, Реле тепловое, Розетки-реле, Реле контроля уровня заполнения




**Адаптеры и переходники** 540

Компьютерные переходники, Высокочастотные переходники, Переходники Audio и Video




**Зажимы "Крокодил"** 150




**Переключатели** 5179

Ключ-выключатели, Галетные переключатели, Двухполюсные переключатели, Клавийные (розерные) переключатели, DIP-переключатели, Микропереключатели, Таймеры, Кнопочные переключатели, Концевые переключатели, Бесконтактные выключатели, Прочие переключатели, Тумблеры




**Кнопки** 1029

Кнопки миниатюрные, Тактовые кнопки, Кнопки на блок, Кнопки SMD, Кнопки с подсветкой, Выключатели кнопки, Податели, Прочие кнопки



**Кабельные наконечники, клеммники и клеммы** 5726

Кабельные наконечники, Кабельные клеммы, Клеммники



**Панели под микросхемы** 127

PLCC-панели для микросхем, PLCC SMD-панели для микросхем, DIP-панели для микросхем, DIP 1.778 мм-панели для микросхем, DIP-цифровые панели для микросхем

Рис. 8.1. Раздел коммутационных элементов в магазине «Чип и Дип»



Многие модели мультиметров имеют переключатель режимов работы и диапазонов измерения, выполненный в двух «частях». Первая имеет ползунки, расположенные на ручке переключателя, а вторая выполнена в виде дорожек на печатной плате. Если вам довелось ошибиться, что привело к выгоранию дорожки переключателя, вы знаете, что восстановить ее почти нереально, а работающий мультиметр приходится отправлять в «хламежку», может быть, что-то пригодится потом. Вот только один пример важности переключателя.

**Радиолобитель:** *Если мы хотели бы сделать простой радиоприемник, что может интересовать в этих изделиях?»*

## Выключатель и переключатель

В первую очередь, наверное, переключатель диапазонов. Для простого приемника подойдет диапазон длинных и средних волн. И можно использовать самый простой переключатель (рис. 8.2).

Для выключения питающего напряжения можно использовать регулятор громкости с выключателем, если найдется подходящий, например, такой (рис. 8.3).

Для батареек потребуется либо бокс, либо, что наиболее удобно, колодка для «Кроны» (рис. 8.4). Девятивольтовая батарейка «Крона» удобна для приемника, работающего на громкоговоритель.

### KLS7-SS03-12D02-EG-3.0, Переключатель движковый

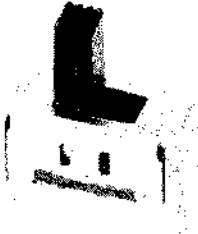
Единица номер: 9008338864  
 Артикул: KLS7-SS03-12D02-EG-3.0  
 PartNumber: L-KLS7-SS03-12D02-EG03  
 Производитель: KLS electronic co ltd

**7 руб.** ✓ 4222 шт. со склада г.Москва

от 1000 шт. — 6.50 руб.  
 от 10000 шт. — по запросу

Добавить в корзину 1 шт. на сумму 7 руб.

**В корзину**



Описание	Сроки доставки	Цена и наличие в магазинах
<b>Технические параметры</b>		
Способ монтажа		в отверстия на плату
Тип исполнения		прямой
Количество контактных групп		1
Количество контактов в контактной группе		3
Алгоритм работы		переключающий
Рабочее напряжение, В		50
Рабочий ток, А		0.3
Вес, г		10

Рис. 8.2. Переключатель для простого приемника

**PTR901-2015K-B103, 10 кОм, Резистор переменный с выключателем**

Номер: 59451  
 Артикул: PTR901-2015K-B103, 10 кОм  
 PartNumber: PTR901-2015K-B103  
 Производитель: Bourns

**140 руб.** Только в рознице. Цена в розницу по запросу

от 100 шт. — 95 руб.  
 от 1000 шт. — по запросу

Добавить в корзину 0 шт. на сумму 0 руб. **В корзину**

Описание | Сроки доставки | Цена и наличие в магазинах

**PTR90 Series 90mm Single Turn Linear Rotary Potentiometer with Rotary Switch**  
 PTR90 series 90mm linear rotary potentiometers with rotary switch, a carbon element, an audio taper option and a tracking error within 0.05%. The PTR90 series 90mm potentiometer has a 15mm metal knurled shaft. Typical applications for this PTR90 series linear rotary potentiometers include audio-TV sets, automotive sound systems, amplifiers, mixers, drum machines, synthesizers, DJ equipment, multimedia sound systems and portable electronics.

**Технические параметры**

Тип	переменный
Модель	ptr901
Номинальное сопротивление	10
Единица измерения	кОм
Функциональная характеристика	линейный
Номинальная мощность, Вт	0.05
Способ монтажа	на плату
Особенности	с выключ.
Вес, г	1

Рис. 8.3. Регулятор громкости с выключателем

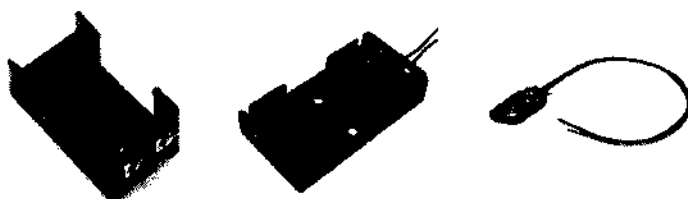


Рис. 8.4. Отсеки для батареек и колодка для «Кроны»

## Гнезда и многое другое, но не для птиц

Будете ли вы использовать громкоговоритель, будете вы использовать только наушники, гнездо для наушников лучше использовать в обоих случаях (рис. 8.5).

Для радиолюбителей следующей «весовой категории» потребуется большее разнообразие деталей. Например, кнопки для управления электронным переключением (рис. 8.6).

Аналогичную кнопку с фиксацией можно применить для включения и выключения питания. И может понадобиться выбрать подходящую панельку под микросхему (рис. 8.7).

Полезными будут и гребенки для подключения готовых модулей (рис. 8.8).

### EY-502C, Гнездо (М) 3.5мм с резьбой

Изм. номер: 4523/0785  
 Артикул: EY-502C  
 PartNumber: EY-502C-AB(NB)  
 Производитель: Dragon City Industries

**29 руб.** ✓ 1631 шт. со склада в Москве

от 300 шт — 24 руб.  
от 3000 шт — по запросу

Добавить в корзину 1 шт. на сумму 29 руб. **В корзину**

Есть аналоги

Описание	Сроки доставки	Цена и наличие в магазинах
<b>Технические параметры</b>		
Количество контактов	3	
Способ монтажа	на пайку	
Диаметр Jack	3.5	
Функциональное назначение	гнездо	
Тип исполнения	прямой	
Моностерео	моно	
Вес, г	3	




Рис. 8.5. Гнездо для наушников

### MPS-850N-G, Кнопка без фикс. 8.5мм 30В 0.3А

Изм. номер: 9090474663  
 Артикул: MPS-850N-G  
 Производитель: Switronic Industrial

**68 руб.** ✓ 3500 шт. со склада в Москве, срок 3 рабочих дня

от 50 шт — 19 руб.  
от 500 шт — 14 руб.

Добавить в корзину 0 шт. на сумму 0 руб. **В корзину**

Описание Сроки доставки Цена и наличие в магазинах

**Техническая документация**

pdf  
pdf, 1015 Кб





Рис. 8.6. Миниатюрная кнопка без фиксации

### Панельки под микросхемы <sup>127</sup>



PLCC панельки для микросхем, PLCC SMD панельки для микросхем,  
 DIP панельки для микросхем, DIP 1 778 мм панельки для микросхем,  
 DIP цанговые панельки для микросхем,  
 SIP, однорядные, цанговые панельки для микросхем,  
 PGA панельки для микросхем,  
 DIP с нулевым усилением панельки для микросхем

Рис. 8.7. Список панелек под микросхемы в магазине «Чип и Дип»

**Контактные колодки Arduino, Набор из оригинальных контактных колодок (6-пин, 10-пин, 2 x 8-пин, ICSP) для Arduino проектов**

Номер модели: 5080477951  
 Категория: Контакты-колодки Arduino  
 Модель: AMP-0382  
 Страна происхождения: Россия

**200 руб.**

от 5 шт. — 184 руб.  
от 50 шт. — 176 руб.

Добавить в корзину 1 шт. на сумму 200 руб.

**Описание** | **Сроки доставки** | **Цена и наличие в магазинах**

Набор из оригинальных контактных колодок состоит из пяти колодок: 10-пиновой, двух 6-пиновых и колодки ICSP. Они соответствуют распределению контактов на Arduino Uno Rev3 и большинства плат расширения.

Колодки могут отличаться по высоте до 60%, они имеют гребень, позволяющий разработать собственную плату, если вам необходимо добиться пространства между имеющимися платами расширения.

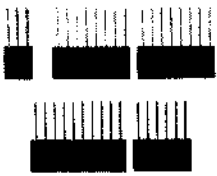


Рис. 8.8. Гребенки для подключения модулей

Арсенал комплектующих для радиолюбителей, которые используют или собираются собирать любительскую радиостанцию, обязательно пополнится ВЧ аксессуарами (рис. 8.9).

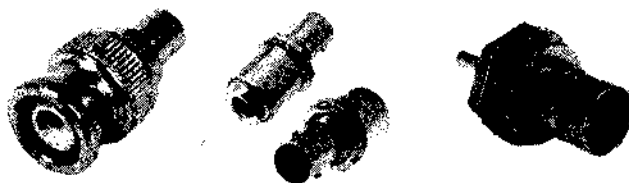


Рис. 8.9. ВЧ аксессуары

Всем радиолюбителям может потребоваться галетный переключатель. При всей его простоте, он вполне может оказаться удобнее самых современных коммутаторов (рис. 8.10).

**RCL371-1-1-12, Переключатель галетный 16F**

Номер модели: 40782  
 Артикул: RCL371-1-1-12  
 Производитель: Web Buying

**340 руб.** ☒ 518 шт. со склада в Москве

от 40 шт. — 326 руб.  
от 400 шт. — 301 руб.

Добавить в корзину 1 шт. на сумму 340 руб.

**Описание** | **Сроки доставки** | **Цена и наличие в магазинах**

**Технические параметры**

Число положений	12
Число направлений	1
Количество секций	1
Длина корпуса, мм	16,3
Вес, г	26

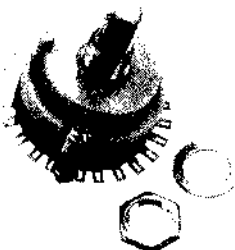
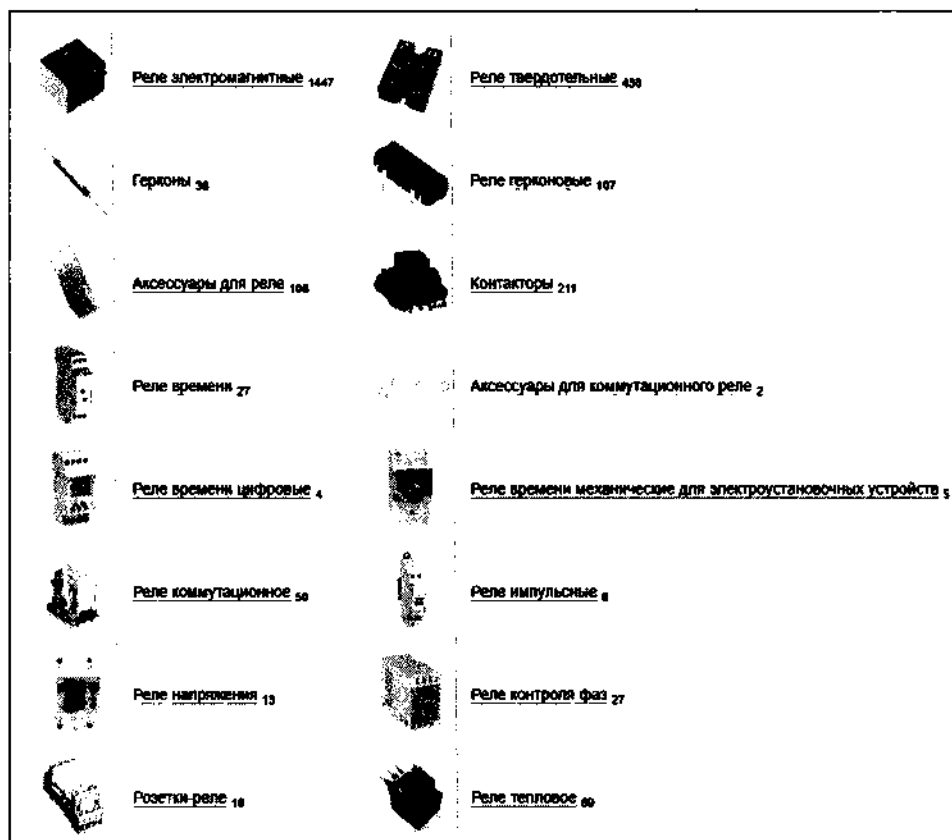


Рис. 8.10. Галетный переключатель



*Рис. 8.11. Разнообразие реле в магазине «Чип и Дип»*

Особую и большую группу составляют реле (рис. 8.11). Постепенно в ряде случаев их заменяют полупроводниковыми приборами, но это удастся не всегда. Иной раз реле оказывается более удачным решением.

Выбор реле определяется количеством необходимых контактов, допустимыми параметрами коммутации, рабочим напряжением реле и током. Определенную роль может играть конструктивное оформление реле или его срок службы.

# ИЗЛУЧАТЕЛИ ЗВУКА

## Пьезоизлучатели

Когда мы говорим про излучатели звука, то, в первую очередь, подразумеваем громкоговорители, не так ли? Между тем, есть удобные для применения звуковые индикаторы (рис. 9.1).

С помощью такого индикатора можно собрать простейшее охранное устройство. Когда-то ультразвуковые пьезоизлучатели широко использовали в промышленных системах охраны. Устройства предназначались для охраны безлюдных помещений, работая по принципу, который схож с тем, что применяют сегодня в датчиках движения.

### НРМ14А, 5 В, 14 мм, Пьезоизлучатель

Код товара: 633869441  
 Артикул: НРМ14А, 5 В, 14 мм  
 PartNumber: НРМ14А  
 Производитель: R. Wood

**55 руб.**

Остаток на складе: Москва  
 24 декабря 2019 г. — 100 шт.  
 28 декабря 2019 г. — 100 шт.  
 17 января 2020 г. — 670 шт.

от 150 шт. — 45 руб.  
 от 1500 шт. — по запросу

Добавить в корзину 6 шт. не сумму 6 руб.

**В корзину**

Описание    Сроки доставки

- Пьезоизлучатели широко применяются в различных приборах и устройствах в качестве излучателей звука для подачи звуковых сигналов.
- герметичный корпус.
- универсальные выводы: провод или резьба.

**Технические параметры**

Тип	пьезоэлектрический
Встроенный пьезодатчик	нет
Частота, Гц	4900
Номинальное рабочее напряжение В	5
Максимальный ток, мА	3
Максимальность звука, дБ	80
Толщина корпуса, мм	7.5
Диаметр(ширина) корпуса в мм	13.8
Рабочая температура, С	-20...70
Вес, г	1




Рис. 9.1. Пьезоизлучатель

Были устройства охраны с разделенными излучателем и приемником. После включения устройства в помещении устанавливалось определенное звуковое поле. Система переходила в дежурный режим. Если кто-то входил в помещение, звуковое поле нарушалось, раздавался сигнал тревоги на пульте охраны.

Аналогично работали и устройства с излучателем и приемником, совмещенными в одном корпусе. По общей в нашей стране привычке ультразвуковые системы охраны стали применяться в магазинах, но выключать их днем забывали. Войдя в магазин, можно было «услышать», как работает охранная система в помещении, набитом людьми.

Ультразвуковые системы охраны могли «сбивать с толку» сквозняки, что не столько свидетельствовало об их недостатках, сколько свидетельствовало о небрежном их использовании.

Сегодня пьезоизлучатель можно встретить, если вам не приходилось, в мультиметре (рис. 9.2).

Если системы охраны с ультразвуковыми устройствами сегодня не применяют (хотя это и не факт), то датчики расстояния, использующие ультразвук, вполне отвечают «высокой моде».

Если вспомнить все устройства, которые производились на протяжении прошлых лет, то было время, когда радиолюбители «охотились» за громкоговорителями, использующими пьезоэффект. Они имели очень небольшие габариты, но вполне устраивали по качеству звука в простых самоделках.

Конечно, для этих целей лучше подходят громкоговорители.

### ABT-441-RC, Преобразователь

Товар номер: 9000277096  
 Артикул: ABT-441-RC  
 Производитель: Multicom

**69 руб.** 5408 шт. со склада в Москве срок 2-3 недели

1  
 от 50 шт — 65 руб  
 от 100 шт — 65 руб

Добавить в корзину 1 шт. на сумму 69 руб.

**В корзину**

Описание    Сроки доставки    Цена и наличие в магазинах

Внешне управляемое устройство, которое не содержит электроники и требует схему для создания тона

- Надежный и легкий
- Низкое энергопотребление
- Multicom products are rated 4.6 out of 5 stars
- 12 month limited warranty \*view Terms & Conditions for details
- 96% of customers would recommend to a friend

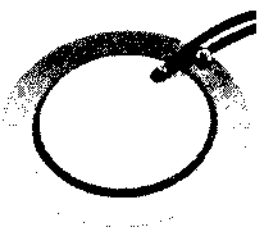


Рис. 9.2. Пьезоизлучатель из мультиметра

## Громкоговорители

До недавнего времени под громкоговорителем понимали то, что ранее встраивали в акустическую систему. То есть, излучатель звука. Позже под громкоговорителем стали понимать излучающую головку вместе с оформлением. Не будучи формалистом, я буду употреблять слово громкоговоритель для обозначения того, что «громко говорит». Не удержусь, наверное, чтобы не вспомнить о существовании доброго друга всей детворы и взрослых. У нас он стоял на буфете (рис. 9.3).

Основа жизнедеятельности громкоговорителя — это эффект взаимодействия проводника с магнитным полем, что вам известно из школьной программы, а отцам-основателям электротехники пришлось хорошо потрудиться над выявлением этого факта.

Вероятно, многие ученые в те времена проводили опыты с магнитом и катушкой, поскольку подозревали, что магнитное и электрическое поля как-то связаны между собой. Но добиться успеха в этом, благодаря наблюдательности, довелось Гансу Христиану Эрстеду.

Большую работу по взаимодействию электрических токов проделал Андре Мари Ампер.

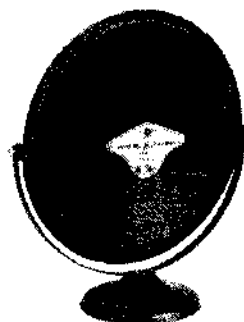


Рис. 9.3. Громкоговоритель из далекого прошлого



### ЭТО ВАЖНО.

**Закон Ампера** — закон взаимодействия электрических токов. Впервые был установлен Ампером в 1820 для постоянного тока. Из закона Ампера следует, что параллельные проводники с электрическими токами, текущими в одном направлении, притягиваются, а в противоположных — отталкиваются.

Современные громкоговорители (динамические головки) устроены достаточно просто: есть магнит, в зазоре которого расположена катушка с прикрепленным диффузором. При протекании тока через катушку диффузор движется, создавая звуковое давление (рис. 9.4).

Это только маленькая часть того, что сегодня доступно любителям. Радиолюбителей, вероятно, интересуют динамики для встраивания в самодельный радиоприемник, то есть, небольшой мощности, неболь-



**Головки динамические (громкоговорители, динамики)**

Сортировка: Рекомендовать Хиты продаж Дешевле Дольше

4 Промокоды

1. Скидка 10%  
2. Скидка 15%  
3. Скидка 20%  
4. Скидка 25%

▼ Мощность, Вт

▼ Номинальное звуковое сопротивление, Ом

▼ Диапазон частот, Гц

▼ Габаритные размеры, мм

▼ Настройка и монтаж

Цена

Мин. цена

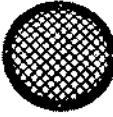







			
Динамик 150 Вт, 16 Ом, для громкоговорителя	Speaker 150 Вт, 16 Ом, для громкоговорителя	Динамик 150 Вт, 16 Ом, для громкоговорителя	Динамик 150 Вт, 16 Ом, для громкоговорителя
320 руб	680 руб	1 450 руб	1 400 руб
▼	▼	▼	▼
			
Динамик 150 Вт, 16 Ом, для громкоговорителя	Динамик 150 Вт, 16 Ом, для громкоговорителя	Динамик 150 Вт, 16 Ом, для громкоговорителя	Динамик 150 Вт, 16 Ом, для громкоговорителя
560 руб	550 руб	310 руб	330 руб
▼	▼	▼	▼

Рис. 9.4. Динамики в магазине «Чип и Дип»

ших размеров, небольшого качества звука. Однако будем справедливы, — не всех. Высокое качество звучания радиопрограмм заставляет радиолюбителей интересоваться качественными усилителями и громкоговорителями. Кто-то покупает готовые промышленные изделия, а кто-то, на то он и радиолюбитель, изготавливает все своими руками.

Если посмотреть на параметры некоторых громкоговорителей, то их частотная характеристика должна удовлетворить многих: 30 Гц...15 кГц. Что еще надо, включил и наслаждайся.

## Проблемы со звуком

Проблемы с динамиками зависят от возможности создания эффективного звукового давления, это раз, и для стереосистем, а особенно квадро, эффективного поля действия, это два. Для создания эффективного звукового давления на низких частотах нужно иметь либо очень большой диффузор, позволяющий небольшие смещения, либо дать возможность диффузору перемещаться весьма существенно. Когда-то диффузор громкоговорителя изготавливался в виде конуса с гофрировкой на внешней стороне. Позже гофрировку заменили резиновыми подвесами.

**Радиоловитель:** *Из-за чего понадобилось уменьшать диффузор и крепить его таким сложным образом?*

Дело в том, что на диффузор действует звуковое давление, которое он создает на низких частотах. Защитить его от этого может акустический экран, размеры которого, в свою очередь, зависят от длины звуковой волны. Чем ниже частота, тем длиннее звуковая волна, и тем больше должен быть акустический экран. Его, правда, можно сложить в коробку, чем не выход! Но и здесь подстерегают неприятности. Упругость воздуха в такой коробке увеличивает резонансную частоту громкоговорителя, а именно резонансной частотой определяется нижняя граничная частота динамика.

Чем больше размер коробки, тем меньше уходит нижняя частота, но далеко не у всех дома есть комната размером с зал кинотеатра. Поэтому размер диффузора стали уменьшать, увеличивать длину смещения диффузора эластичной подвеской, увеличивать допустимую мощность громкоговорителя. И коробки стали делать с разными ухищрениями, например, применили фазоинвертор.

**Радиоловитель:** *А что с высокими частотами?*

## Проблемы с воспроизведением высоких частот

У всех свои проблемы. На низких частотах диффузор движется подобно поршню, движется как единое целое. С ростом частоты края диффузора «не успевают» «за движением центра» (все, как в жизни). Отдача от диффузора начинает падать. Поэтому стали делить частотный диапазон на низкие частоты (один ряд громкоговорителей), средние частоты и высокие частоты. Этим добивались равномерного звукового давления во всем диапазоне звуковых частот.

Насколько это помогло высоким частотам, даже если учесть, что для высокочастотных громкоговорителей стали применять более жесткие материалы диффузоров, сказать трудно. Обнаруживается другая проблема. С ростом частоты звука растет направленность, как следствие уменьшения длины волны. Слушая звучание напротив громкоговорителя, ты удовлетворен качеством звучания «колокольчиков», но не твой сосед, который сидит поодаль. Для устранения этого эффекта, который особенно сказывается на работе стереосистем, применяют, например, звуковые линзы и шарообразные высокочастотные излучатели.

С появлением транзисторов отпали вопросы с созданием усилителей — любой частотный диапазон при достаточно большой мощности.

Так казалось в начале, так оказалось не так. Что подвигло моду вернуться к ламповым усилителям. Правда, позже проблемы были решены.

Но эти вопросы, в меньшей мере, волнуют радиолюбителей, оставляя заботу обо всем на откуп меломанам. Последние готовы покупать (или собирать) сверхкачественные усилители и создавать очень качественные акустические системы с бухающими низкочастотными модулями. Не буду их расстраивать, но когда они создают систему, работающую от 20 Гц, то большая часть людей этот звук не слышит, а остальные, если слышат, то на открытом воздухе, а не в комнате 20 м<sup>2</sup>.

## Электродинамические громкоговорители, классификация и основные параметры

Для работы на любительской радиостанции, возможно, больше подходит гарнитура: микрофон и наушники (рис. 9.5).

Но современные приемники с программным обеспечением могут подключаться к компьютеру, используя его звуковую карту. Поэтому и самодельное устройство может комплектоваться микрофоном и громкоговорителем. В этом случае радиолюбителю предстоит выбрать излучающую головку.

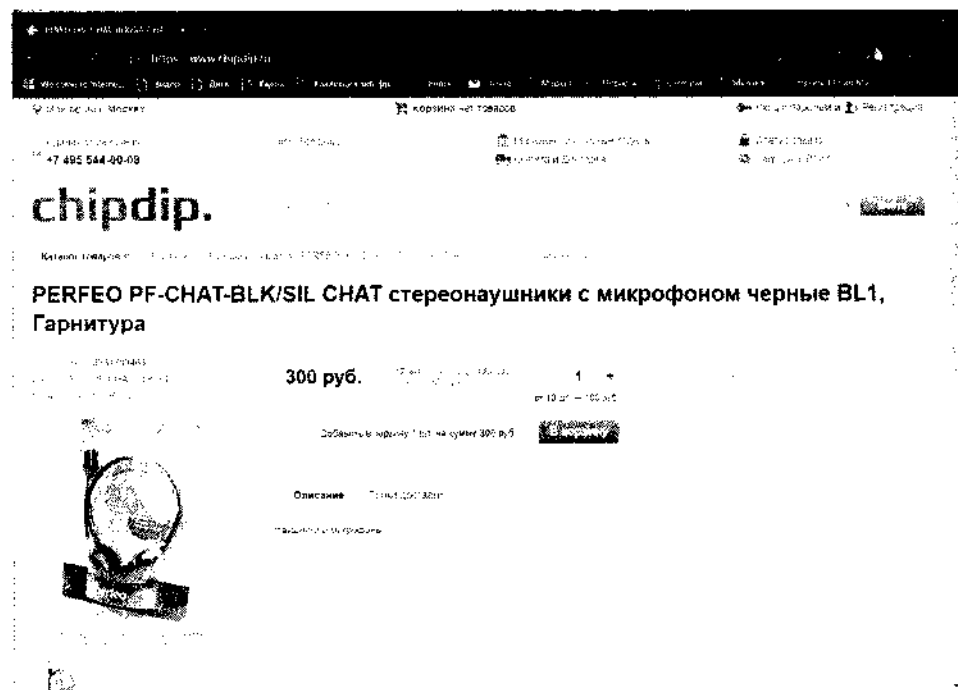


Рис. 9.5. Наушники с микрофоном

Громкоговорители **классифицируют** по электроакустическим, конструктивным и эксплуатационным параметрам.

Основные электрические характеристики:

- ♦ полное электрическое сопротивление;
- ♦ резонансная частота;
- ♦ полоса воспроизводимых частот, в пределах которой неравномерность частотной характеристики не превышает заданного значения.

Частотную характеристику снимают по звуковому давлению при определенных условиях. Полное сопротивление громкоговорителя тоже зависит от частоты. Вот результат моделирования громкоговорителя в программе QucsStudio (рис. 9.6).

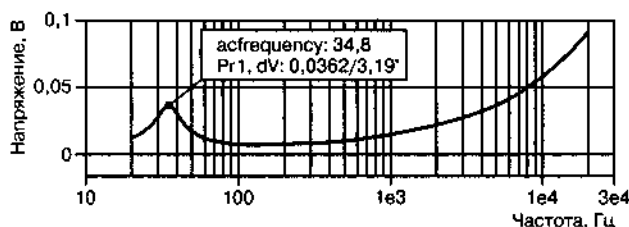


Рис. 9.6. Зависимость полного сопротивления громкоговорителя от частоты

Такой график можно найти в книгах, в Интернете, но вы можете проводить моделирование, если надумаете что-то делать самостоятельно. Предварительное рассмотрение всегда приносит пользу. Представлять все доступные громкоговорители особого смысла нет. Но дать представление о параметрах громкоговорителей не будет лишним. Параметры некоторых моделей электродинамических громкоговорителей представлены в табл. 9.1.

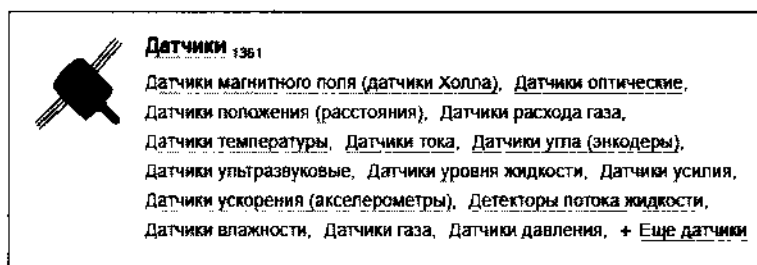
Параметры некоторых моделей  
электродинамических громкоговорителей

Таблица 9.1

Название	R, Ом	Частота резонанса, Гц	Полоса частот, Гц	Выходная мощность номинальная (максимальная), Вт	Назначение
25ГДН-4-4	4	40 ± 10	40...5000	15 (25)	Низкочастотный
6ГДВ-6-16	16	2900...3600	5000...25000	6 (10)	Высокочастотный
6ГДШ-1-4	4	75	80...12500	6	Широкополосный
0,25ГД1	6	-	300...1000	0,25	Малогабаритный
0,5ГДШ-1	8	-	315...5000	0,5 (3)	Малогабаритный
1ГДШ-2-16	16	-	200...10000	1 (5)	Широкополосный

# ДАТЧИКИ

Все-таки вопрос датчиков, вопрос, скорее интересующий любителей, которые увлекаются автоматикой и роботостроением (рис. 10.1).



*Рис. 10.1. Датчики*

Но многие радиолюбители интересуются вопросами создания устройств для управляемых по радио моделей. Их может заинтересовать, например, датчик угла, энкодер, или джойстик (рис. 10.2).

Вспомним, что ни радиолюбители-коротковолновики, ни радиоспортсмены не живут в «эфире». Им приходится заниматься домашними делами, решая те проблемы, которые появляются у всех нас время от времени. Порой приходится пополнять свой парк оборудования, иногда появляется желание что-то улучшить в работе оборудования. Поэтому и в раздел датчиков заглядывать приходится.



*Рис. 10.2. Энкодер и джойстик*

# МИКРОСХЕМЫ АНАЛоговые, цифровые, импульсные и...

## Усилители высокой частоты

Усилители высокой частоты [14], в первую очередь, могут интересовать любителей-связистов и радиоспортсменов. Сегодня выбор затруднен только обилием предложений. Если раньше нужно было искать подходящую схему усилителя, искать подходящий транзистор, то сегодня достаточно зайти в магазин (рис. 11.1). Параметры некоторых микросхем высокочастотных усилителей представлены в табл. 11.1.

Микросхемы ВЧ и СВЧ

Таблица 11.1

Название	Назначение	Полоса частот, Гц	Усиление, дБ	Напряжение питания, В	Потребляемый ток, мА
HMC8411	Малошумящий широкополосный	0,01...10	15	2...6	55
ADPA9002	Усилитель мощности	0...10	15,5	10...15	385
HMC1022A-Die	Широкополосный усилитель	0...48	11,5	9...10	150
ADL5569	Дифференциальный усилитель	0...6,5	20	4,75...5,25	86
HMC8410LP2FE	Малошумящий усилитель	0,01...10	18	2	65
ADPA7001-Die	Усилитель мощности	50...95	14,5	1,5...4	350
ADMV7710	Усилитель мощности	71...76	24	4...4,5	800
MAX2685EEE+	Широкополосный усилитель	0,8...1	18	5,5	
KXA058	УКВ ЧМ радиоприемник	-	-	3,2...10	5,8...10,9
K174XA34	УКВ ЧМ тракт	0,0015...0,11		2,7...3,3	10



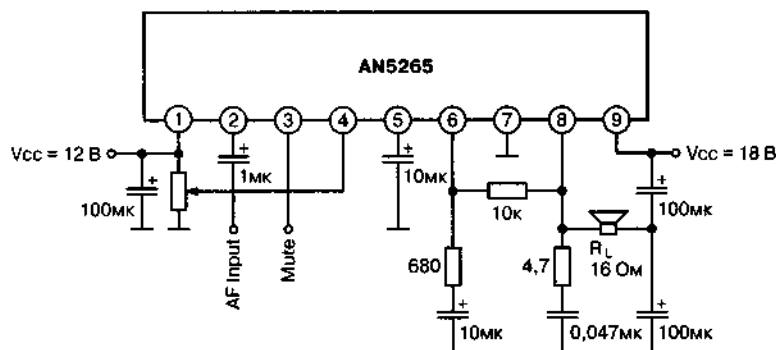


Рис. 11.3. Схема включения микросхемы AN5265

**L4978, DC-DC преобразователь 2A STEP DOWN [DIP-8]**

Модель: Z992547619  
Артикул: L4978  
Производитель: ST (Стокгольм, Швеция)

**140 руб.** ✓ 135 шт. со склада в Москве

от 5 шт. — 123 руб.  
от 50 шт. — 130 руб.

Добавить в корзину 0 шт. на сумму 0 руб. **В корзину**

**Описание**   **Сроки доставки**   **Цена и наличие в магазинах**

This L4978 is a step-down monolithic power switching regulator delivering 2A at a voltage between 1.3 and 50V (selected by a simple external divider). Realized in BCD mixed technology, the device uses an internal power D-MOS transistor (with a typical  $R_{DS(on)}$  of 0.25R) to obtain very high efficiency and high switching speed. A switching frequency up to 300kHz is achievable. A wide input voltage range between 8 to 50V and output voltage regulated from 1.3 to 50V cover the majority of today's applications. Features of this new generation of DC-to-DC converter include pulse-by-pulse current limit, hiccup mode for short-circuit protection, voltage feed-forward regulation, soft-start protection against feedback loop disconnection, enable for zero current consumption and thermal shutdown.

- Pulse-by-pulse feedback disconnection
- Limited for zero current consumption
- Zero load current operation
- Internal current limiting (pulse-by-pulse and hiccup mode)
- Provides  $\pm 3V$  ( $\pm 1\%$ ) internal reference voltage

**Технические параметры**

Тип преобразователя	step-down
Диапазон входных напряжений, В	8...50
Сила тока выходного напряжения, В	0.3...50

Рис. 11.4. Преобразователь напряжения



## Некоторые микросхемы усилителей низкой частоты

Параметры некоторых микросхем усилителей низкой частоты представлены в табл. 11.2.

Представители усилителей низкой частоты

Таблица 11.2

Название	Назначение	R <sub>н</sub> , Ом	Выходная мощность, Вт	Напряжение питания, В	Коэффициент нелинейных искажений, %
TDA1010	Моно усилитель	2...8	6...10	6...24	0,2 (P = 1 Вт)
TDA1517	Сtereo усилитель	4	2×6	6...18	0,5 (P = 5 Вт)
LA4663(N)	Двухканальный усилитель	6	2×16	5,5...20	0,4 (P = 1 Вт)
LM4818MX	Моно усилитель	16	0,35	2...5,5	-
TPA3116D2DADR	Усилитель класса D	4	2×50	4,5...26	< 1 (P = 10 Вт)
TDA7498	Моно/Сtereoусилитель класса D	8	2×80	36	10
TPA6120A2DWPR	Сtereo усилитель для наушников	16	-	9...33	-
LA4581M	Усилитель для наушников	8	0,032	3	2 (P = 4 мВт)

## Некоторые микросхемы импульсных преобразователей

В любительской практике часто бывает необходимость иметь либо разные напряжения от одного источника питания, либо получить от низковольтного источника более высокое напряжение. В этом помогут DC-DC преобразователи. Параметры некоторых преобразователей напряжения представлены в табл. 11.3.

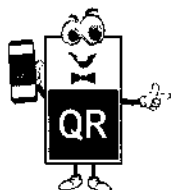
Преобразователи напряжения

Таблица 11.3

Название	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Выходной ток, А	Частота преобразования, МГц
L296	9...46	5,1...40	4	до 200
L4963	9...46	5,1...40	1,5	42...83
L4974A	12...50	5,1...40	3,5	до 200
ST1S03PUR	2,7...6	0,8...5,5	1,5	1,5
ST1S12G18R	2,5...5,5	1,2	0,7	1,7
MC34063ADG	3...40	1,25...38	1,5	0,042
LM2574N-12G	4,75...40	12	0,5	0,052
LM2623AMMX	0,8...14	1,24...14	2	2
TPS61030	1,8...5,5	до 5,5	1	0,7

## Цифровые микросхемы

Традиционные микросхемы TTL и CMOS сегодня представлены в разных модификациях. Если ранее можно было говорить о микросхемах TTL, что они поддерживают достаточно большой выходной ток, не в пример микросхемам КМОП, то сегодня и об этом говорить не приходится (рис. 11.5).



Практически все цифровые микросхемы можно найти и в зарубежном, и в отечественном исполнении. Вот, например, таблица соответствия.



**74AC32SC, Логическая ИС серии КМОП, 4 логических элемента 2"ИЛИ" (SO-14)**

Номер модели: 9060052861  
Артикул: 74AC32SC  
Производитель: Fairchild Semiconductor

**23 руб.** ✓ 388 шт. со склада (Москва)  
от 15 шт. — 21 руб.  
от 150 шт. — 19.60 руб.

Добавить в корзину 0 шт. на сумму 0 руб. **В корзину**

Описание Сроки доставки Цена и наличие в магазинах

The 74AC32SC is a quad 2-input OR Gate contains four circuits. The device operates at a voltage range of 2 to 6V. The device features 24mA output source/sink and ICC reduced by 50%.

Технические параметры	
Серия	74AC
Тип логического элемента	2ИЛИ
Кол-во элементов	4
Напряжение питания, В	2-6
Максимальный выходной ток: High/Low, мА	24/24
Логический уровень - Low, В	0.5; 1.65
Логический уровень - High, В	2.1; 3.65
Максимальное время задержки при Max V и Cl, нс	7.5
Рабочая температура, °C	-45...+85
Характеристика	vol: 14.75 (max)
Вес, г	0.25

Рис. 11.5. Микросхема серии 74AC

## Основные параметры цифровых микросхем

В настоящее время применение находят цифровые микросхемы транзисторно-транзисторной логики (TTL) и микросхемы на комплементарных структурах металл-окисел-полупроводник (CMOS).

К основным параметрам цифровых микросхем относят:

- быстродействие;
- потребляемая мощность;

- ♦ помехоустойчивость;
- ♦ коэффициент разветвления по выходу (нагрузочная способность);
- ♦ коэффициент объединения по входу.

Таблицы для распространенных серий микросхем составляют на основании их **функционального назначения**: логические элементы И, ИЛИ, НЕ, исключающее ИЛИ; триггеры, счетчики, регистры; мультиплексоры, демультиплексоры, дешифраторы и т. д.

С появлением микропроцессоров и совершенствованием технологии их изготовления схемы на цифровых микросхемах стали терять свое значение. Микроконтроллеры постепенно вытесняют цифровые микросхемы из их «привычной среды обитания»...

## ...и микроконтроллеры

Если начинающие радиолюбители с любопытством и опаской посматривают на микроконтроллеры, то более опытные их товарищи по увлечению уже выбирают, что называется, то, что «покруче». Благо выбрать есть из чего (рис. 11.6).

### Микроконтроллеры - MCU <sup>1790</sup>

16-битные Микроконтроллеры, 32-битные Микроконтроллеры.

8-битные Микроконтроллеры, Специализированные Микроконтроллеры

Рис. 11.6. Микроконтроллеры в магазине «Чип и Дип»

Более полутора тысяч представителей этого вида, впечатляет. Другое дело, что сами микросхемы, дорогие они или дешевые, бесполезны. Этим они отличаются от других микросхем. Для микроконтроллеров нужно либо иметь, либо создать программу, которую можно загрузить в купленную микросхему. И, вы уже сталкивались, наверное, для программирования разных типов микроконтроллеров могут понадобиться разные программаторы (рис. 11.7).

За время написания разных рассказов о микроконтроллерах, я сам об этом не подозревал, у меня накопилось несколько программ, обслуживающих разные программаторы. Они похожи, да, но не получится с помощью одной программы, увы, поработать с разными программаторами. Вот программа для программирования PIC-контроллеров (рис. 11.8).

Довелось мне по собственной глупости снимать блокировку с AVR микроконтроллера, чтобы перепрограммировать его. Помогла программа SinaProg (рис. 11.9).

## Средства программирования



Программаторы 10



Адаптеры для программирования микросхем 104



Внутрикремлевые программаторы, адаптеры, отладчики 60



Универсальные адаптеры и платы 1

Средства программирования — это инструментальные средства, применяемые при разработке программ для микроконтроллеров, микросхем ПЛИС и программировании микросхем памяти. К числу основных инструментальных средств программирования относятся универсальные программаторы, адаптеры, отладчики, внутрикремлевые программаторы и адаптеры, предназначенные для различных корпусов микросхем. Цена на средства программирования зависит от функциональных возможностей. Купить средства программирования можно как универсальные (работающие с большим перечнем поддерживаемых микросхем), так и узкоспециализированные (рассчитанные на работу с одной серией микросхем).

Наиболее известными брендами в области разработки средств программирования являются следующие компании: Atmel, Digilent, Elnec, Embee, Kall, Kell, Microchip, mikroElektronika, Olimex, ROMService, Sagget, Silicon Labs, ST Microelectronics, Tarsel, Texas Instruments, WaveShare, Xaltek, Xilinx, Третон, Фитон.

Рис. 11.7. Программаторы

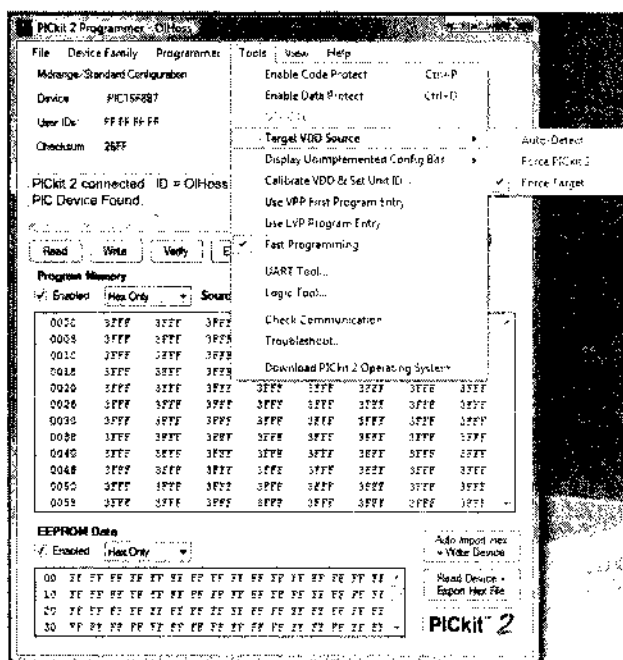


Рис. 11.8. Программа для работы с программатором PICKit 2

Программатор, работающий с этой программой, собрать было не сложно — несколько резисторов и разъем. Но подключался программатор к LPT-порту для принтера, а далеко не у всех он есть. Если проблемы с разблокированием нет, то можно использовать COM-порт.

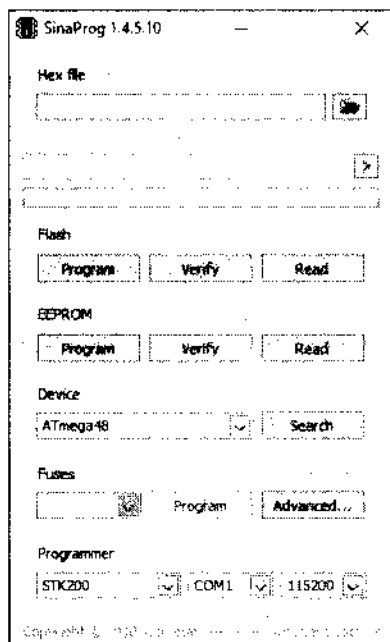


Рис. 11.9. Программа для работы с AVR-контроллерами

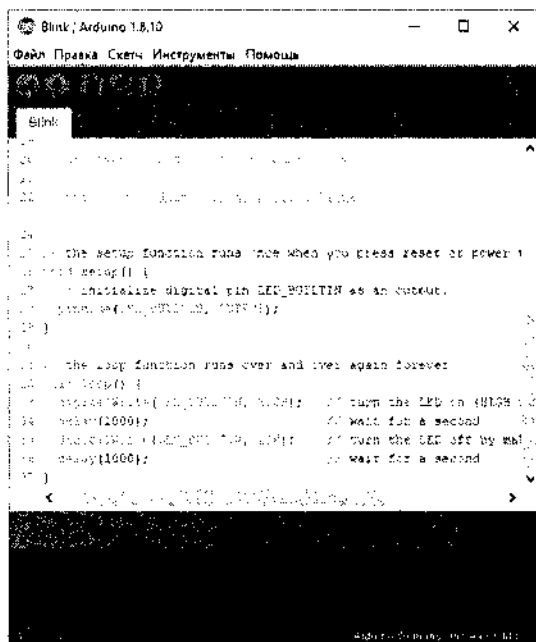
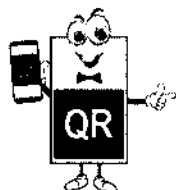


Рис. 11.10. Программа для создания программ и программирования Arduino



Собрать такой программатор не составит труда, он не потребует дорогостоящих деталей, и он вполне по силам даже самым начинающим радиолюбителям.



Но очень удобны и для начинающих, и для опытных радиолюбителей **модули Arduino**. Если первым они помогут освоить программирование микроконтроллеров, не требуя программатора, то вторым они дают возможность иметь готовую базу для множества самоделок. Программа для работы с модулями Arduino подразумевает их подключение к порту USB, что актуально для многих, имеющих ноутбук (рис. 11.10).

В заключение хочется сказать, что для радиоэлектроники все так «смешалось в доме Облонских», что любителей радиосвязи сегодня интересует программное обеспечение, интересует, как лучше подключить оборудование к USB-порту и т. д., и т. п. И вы могли убедиться, что зайти в магазин радиотоваров можно либо имея конкретный список необходимых деталей, либо на многочасовую экскурсию.

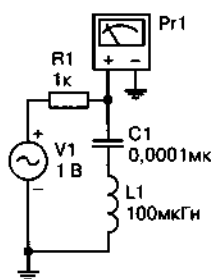
# ЧАСТЬ III

## ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ

*Схемотехника. Как любая техника исполнения чего-либо, будь то техника балета или живописи, техника бега или плавания, схемотехника требует, кроме таланта и призвания, обучения и каждодневного труда. Вот как определяет понятие схемотехники Большая Советская Энциклопедия:*

*Схемотехника — научно-техническое направление, охватывающее проблемы проектирования и исследования схем электронных устройств радиотехники и связи, вычислительной техники, автоматики и других областей техники. Основная задача схемотехники — синтез (определение структуры) электронных схем, обеспечивающих выполнение определенных функций, и расчет параметров входящих в них элементов. Термин «схемотехника» появился в 60-х годах 20 века в связи с разработкой унифицированных схем, пригодных одновременно для многих применений.*

*На основе электронной схемы создают соответствующее устройство (входящее в состав некоторой технической системы). К устройству предъявляется требование надежной работы в течение заданного времени в реальных условиях производственного раз-*



броса параметров элементов и их старения, влияния внешней среды и возмущающих воздействий.

Поэтому при разработке схем, наряду с расчетом номинальных значений параметров элементов, необходимо рассчитывать эксплуатационные допуски на них, предусматривать в схеме средства, повышающие надежность устройства (обеспечивающие устойчивую работу схемы при внешних воздействиях), а также позволяющие контролировать его исправность.

Элементной базой для создания электронных устройств служат дискретные электро- и радиоэлементы (резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы и т. д.) и интегральные микросхемы. Если электронная схема реализуется в виде ИС либо нескольких ИС, то говорят о «микросхемотехнике», под которой понимают область микроэлектроники, связанную с проектированием интегральных схем...

Так как создание новой интегральной схемы — комплексная проблема, то ее решают совместно физики, технологи, конструкторы, специалисты по микросхемотехнике, используя комплексные опытно-теоретические методы, в том числе моделирование на ПК как самой схемы, так и условий ее работы...

Вопреки установившейся традиции эту часть книги организуем в соответствии с ЧАСТЬЮ 2. И начнем мы ее со схемных решений на базе пассивных элементов.

Мы рассмотрим фильтры, усилители, включая многокаскадные, заглянем в элементы автоматики, где не обойдемся без микроконтроллеров. И, не сомневайтесь, завершим эту часть тривиальным вопросом — как читать электрические схемы.

## **Глава 12. Фильтры**

## **Глава 13. Усилители**

## **Глава 14. Многокаскадные усилители**

## **Глава 15. Элементы автоматики и управления**

## **Глава 16. Работа с микроконтроллерами**

## **Глава 17. Чтение принципиальных электрических схем**

# ФИЛЬТРЫ

## RC-фильтры и LC-фильтры

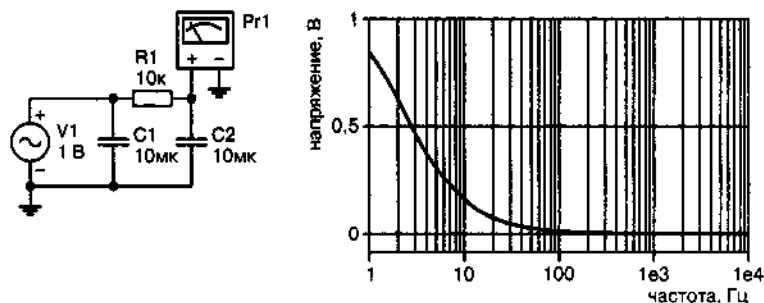
Наличие реактивного сопротивления у конденсаторов и индуктивностей позволяет создавать с их помощью большое количество **фильтров**.

**Радиолюбитель:** *Что такое фильтр?*

В бытовом плане такой вопрос не возникает: чтобы очистить воду, нужно процедить ее через фильтр, который пропустит воду, но уберет камушки, веточки, песок. В электронике похожая ситуация: нужно пропустить или отсеять какие-то частоты.

Во многих электрических схемах можно встретить связку из резистора и конденсаторов. Посмотрим на частотную характеристику такой электрической цепи (**рис. 12.1**).

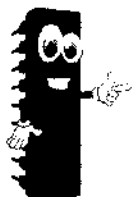
Такой фильтр убирает все высокие частоты, начиная с самых нижних. К слову, здесь  $P_{r1}$  играет роль осциллографа. **Частота среза**, так называют частоту, с которой начинается спад на 3 дБ на частотной характеристике, определяется значениями сопротивления и емкости. Более простые фильтры нижних и верхних частот можно создать всего из двух компонентов: конденсатора и резистора. Если на схеме



**Рис. 12.1.** Амплитудно-частотная характеристика RC-фильтра



**рис. 12.1** удалить конденсатор  $C1$ , то мы получим простейший...**фильтр нижних частот**. А, если мы поменяем местами  $R1$  и  $C2$  без  $C1$ , то получим... **фильтр верхних частот**.



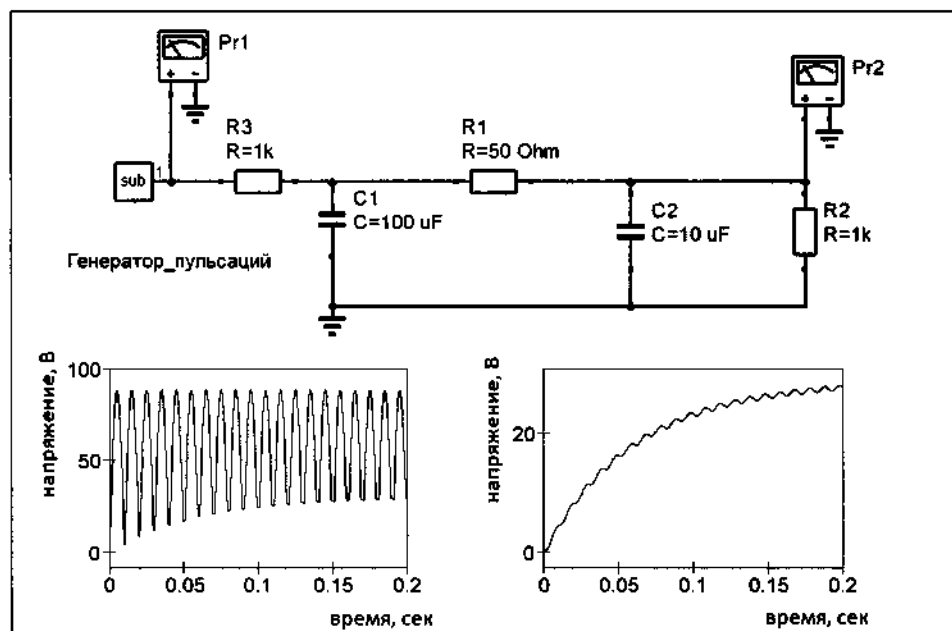
### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

**Фильтр нижних частот (ФНЧ)** – электронный фильтр, эффективно пропускающий сигналы с частотой ниже некоторой частоты (частоты среза) и подавляющий сигналы с частотой выше этой частоты.

**Фильтр верхних частот (ФВЧ)** – фильтр, пропускающий высокие частоты входного сигнала, при этом подавляя частоты сигнала ниже частоты среза.

Но вернемся к схеме на **рис. 12.1**. Простой пример применения такого фильтра представлен на **рис. 12.2**.

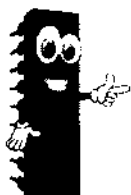
Осциллограф (Pr1) на выходе генератора пульсаций показывает большую амплитуду переменного напряжения. А мы хотели получить постоянное напряжение. Фильтр, блокируя высокие частоты, помогает сделать это. Можно, конечно, рассматривать ситуацию под другим углом: конденсатор  $C1$  заряжается с приходом полуволны, а при ее спаде разряжается, поддерживая напряжение.



**Рис. 12.2.** Применение RC-фильтра для подавления пульсаций

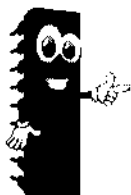
## Развязка в цепи питания

Однако подобную цепь из резистора и конденсаторов можно встретить, например, в приемнике прямого усиления между высокочастотным усилителем и низкочастотным. Приемник питается от батарейки, где пульсаций нет. И фильтр не убирает пульсации, а препятствует паразитной связи по высокой частоте между каскадами. Таким образом, RC-фильтр такого вида можно встретить часто.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

Эффективность фильтра тем выше, чем больше значения сопротивлений  $R3$  и  $R1$ .



### СОВЕТ.

Отметим, что падение напряжения на резисторах  $R3$  и  $R1$  далеко не всегда (иногда, да) полезно. Чтобы избежать этого, вместо резисторов можно использовать индуктивность (рис. 12.3).

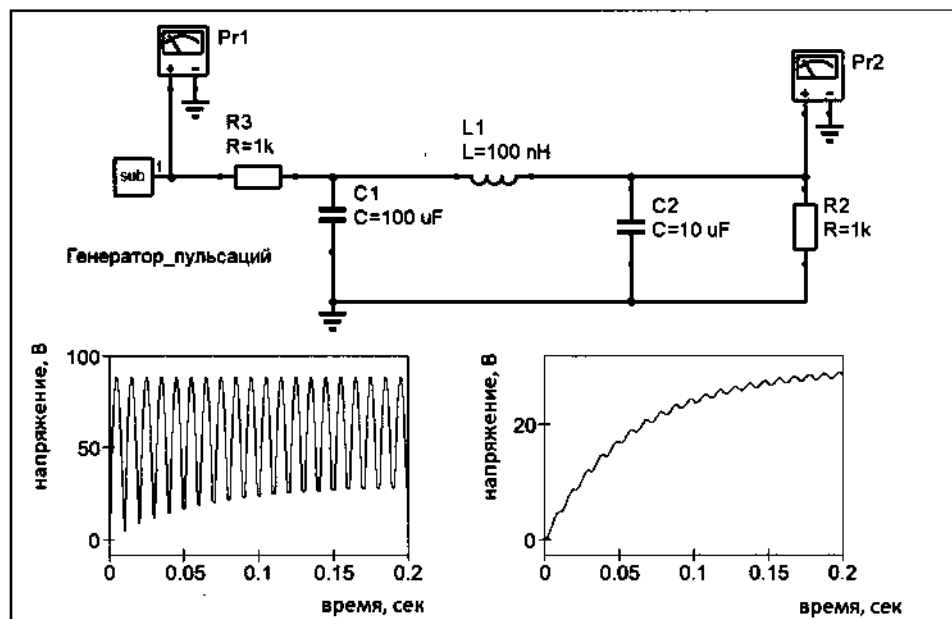


Рис. 12.3. Применение LC-фильтра для подавления пульсаций

Сопротивление катушки индуктивности гораздо меньше, чем обычных сопротивлений, что уменьшает падение напряжения на ней. В схемах любительских радиостанций прошлых лет можно было видеть, что питание всех каскадов усиления осуществляется с помощью дросселей и конденсаторов. Каскады усиления избавлены от паразитных связей через элементы питания, а напряжение для первых каскадов удается поддержать достаточно высоким.

Самые простые фильтры нижних и верхних частот можно собрать не только из конденсатора и резистора, но и из резистора и индуктивности. Они будут работать так же, как и фильтры с конденсаторами, но схемы включения будут противоположны тому, как они выполнены для конденсатора. Причина этого в том, что реактивное сопротивление индуктивности и конденсатора взаимно обратны.

Еще одна особенность RC-фильтров — это изменение фазы выходного напряжения по сравнению с фазой входного (рис. 12.4).

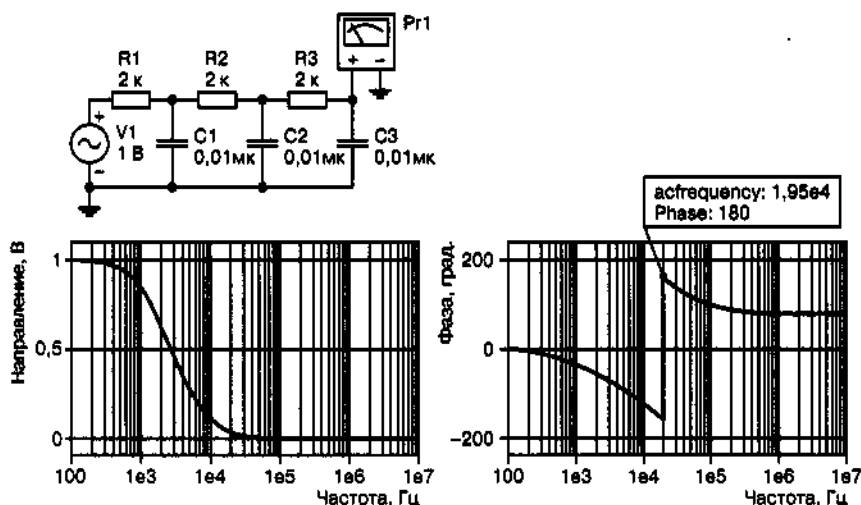
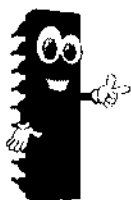


Рис. 12.4. Сдвиг фазы выходного напряжения RC-фильтра



### ВНИМАНИЕ.

Если такой фильтр включить между коллектором и базой каскада усиления на транзисторе, то отрицательная обратная связь из-за сдвига фазы на 180 градусов превратится в положительную, а усилитель превратится в генератор.

*Для превращения усилителя в генератор при использовании обратной связи, кроме фазового условия, необходимо соблюсти еще амплитудное условие возникновения самовозбуждения.*

Частота среза для RC-цепи определяется **постоянной времени** и рассчитывается по формуле:

$$f = 1/2\pi RC = 1/2\pi\tau$$

где  $\tau$  — это постоянная времени, численно равная произведению сопротивления на емкость. Для LR-цепи постоянная времени:  $\tau = L/R$ .



*Более подробно прочитать о частотах срезах, если вам это нужно или интересно, вы можете в статье, на которую можно перейти по этому QR-коду.*

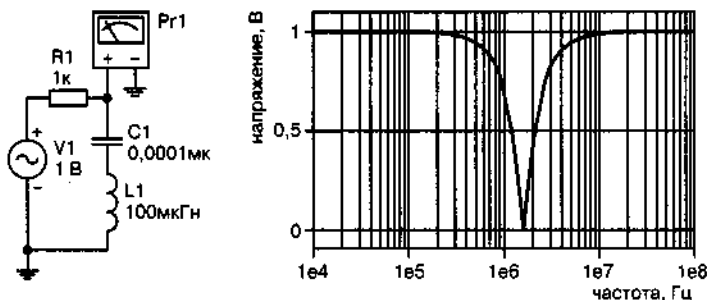


## Колебательный контур или фильтр?

Возвращаясь к радиоприемнику, вспомним, что антенна подключается к колебательному контуру — параллельно включенные катушка индуктивности и конденсатор. А это, в сущности, фильтр, отсекающий все частоты, кроме частоты резонанса. Этим обеспечивается выбор одной вещательной радиостанции из многих.

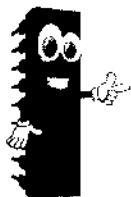
Соединенные последовательно катушка индуктивности и конденсатор образуют **режекторный фильтр**, вырезающий частоту, на которой проявляется резонанс (рис. 12.5).

Режекторный фильтр можно получить с помощью резисторов и конденсаторов. Их, правда, понадобится больше, чем в схеме после-



**Рис. 12.5.** Последовательный резонанс в режекторном LC-фильтре

довательного резонанса. Подобный режекторный фильтр можно применить в измерителе нелинейных искажений. Вырезав из испытательной частоты основную с помощью режекторного фильтра, мы получим совокупное напряжение, образованное гармониками сигнала.



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

**Нелинейные искажения** — это искажения, вызванные нелинейностью системы обработки и передачи сигнала. Для усилителей нелинейные искажения оценивают коэффициентом нелинейных искажений: отношением среднеквадратичного значения всех гармоник сигнала к среднеквадратичному значению полного сигнала, выраженное в процентах. Для усилителей низкой частоты этот параметр часто определяют с помощью взвешивающего фильтра.

Применение такого метода оценки нелинейных искажений обусловлено тем, что человеческое ухо не одинаково реагирует на низкие, средние и высокие частоты звукового диапазона.

Если для низкочастотного усилителя нелинейные искажения определяют качество звучания радиоприемника или проигрывателя, то нелинейные искажения генератора любительской радиостанции приводят к зашумлению диапазона связанных частот, к выходу за допустимый интервал частот и как результат — применение мер дисциплинарного воздействия со стороны надзорных органов.

## Т-образный мост

Чтобы получить хорошее подавление гармоник, можно применить двойной Т-образный мост (рис. 12.6).

Отметим, что  $C1$  имеет емкость вдвое больше, чем  $C2$  и  $C3$ , а резистор  $R3$  — сопротивление меньше, чем  $R1$  и  $R2$ . При таком построении фильтра он эффективно подавляет частоту, на которую настроен. Вы можете проверить, какие компоненты следует применить, выбирая их из разных рядов номинальных значений.

В последнее время в усилителях промежуточной частоты применяют избирательные фильтры на основе **пьезокерамики**.

Раньше в качестве фильтров промежуточной частоты использовали колебательный контур, настроенный на промежуточную частоту. Такой

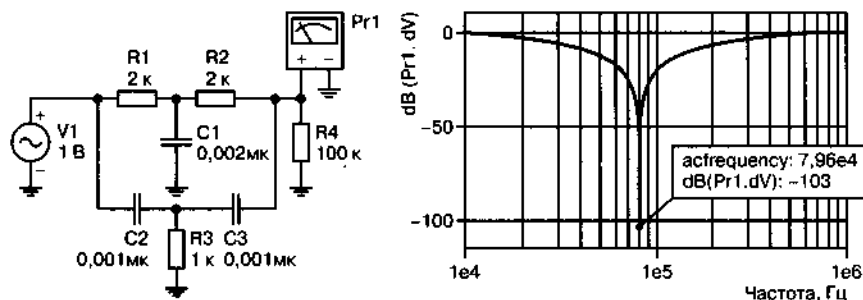


Рис. 12.6. Режекторный RC-фильтр



О пьезокерамических фильтрах вы можете почитать в литературе или прочитать эту статью, где подробнее рассказывается, что это за фильтры.



фильтр служил нагрузкой, например, цепи коллектора транзистора, в итоге получался активный фильтр. Сегодня активные фильтры часто выполняют на **операционных усилителях**. Очень простой фильтр можно получить, включив RC-фильтр в цепь отрицательной обратной связи (рис. 12.7).

Операционные усилители, имеющие прямой и инверсный вход, позволяют легко создать цепь отрицательной обратной связи. Вдобавок операционные усилители разрабатывают так, чтобы при очень большом усилении по напряжению они оставались устойчивы к самовозбуждению даже при стопроцентной обратной связи.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

О проблемах с введением обратной связи в многокаскадных усилителях мы поговорим в **главе 14**.

Радиоэлектронике из-за того, что радиоволны затухают вдали от передающих станций, приходится использовать многокаскадные усилители в приемнике. Но и в низкочастотной схемотехнике источники сигнала зачастую имеют очень малое напряжение. Так, электромагнитная головка звукоснимателя развивает напряжение в несколько милливольт, что требует многокаскадного усилителя с использованием обратных связей. Вопросы устойчивости усилителей подчас выходят на первое место.

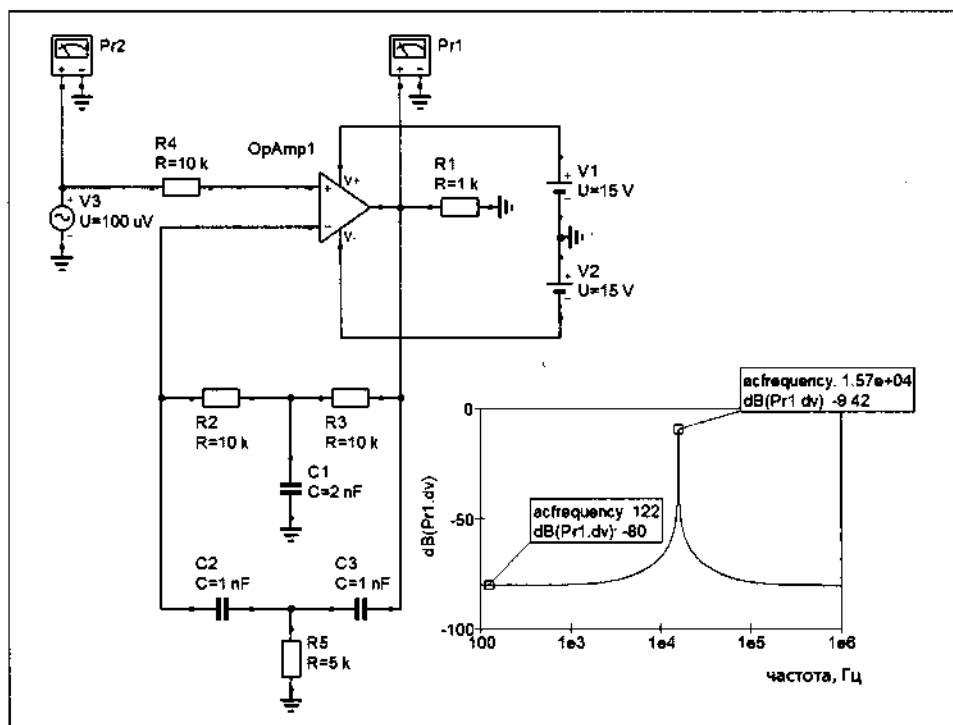


Рис. 12.7. Активный фильтр с операционным усилителем

И еще одно замечание: двойной Т-образный мост, который использовался в качестве режекторного фильтра (рис. 12.6), благодаря ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ обратной связи, «отрицнулся» в избирательный фильтр.

## Есть проблемы с активными фильтрами

При всей кажущейся простоте схемного решения профессионалам приходится решать ряд проблем при создании активных фильтров. Одна из причин выглядит так (рис. 12.8).

Заменив генератор V3 на схеме, приведенной на рис. 12.7, генератором импульса, мы получили не только ожидаемую частоту настройки фильтра, вырезанную из сложного сигнала, но и дополнительные колебания после того, как сигнал перестал действовать на активный фильтр.

Как правило, в технике приходится иметь дело со сложными сигналами, поэтому разработчики активно используют программы моделирования при разработке активных фильтров.

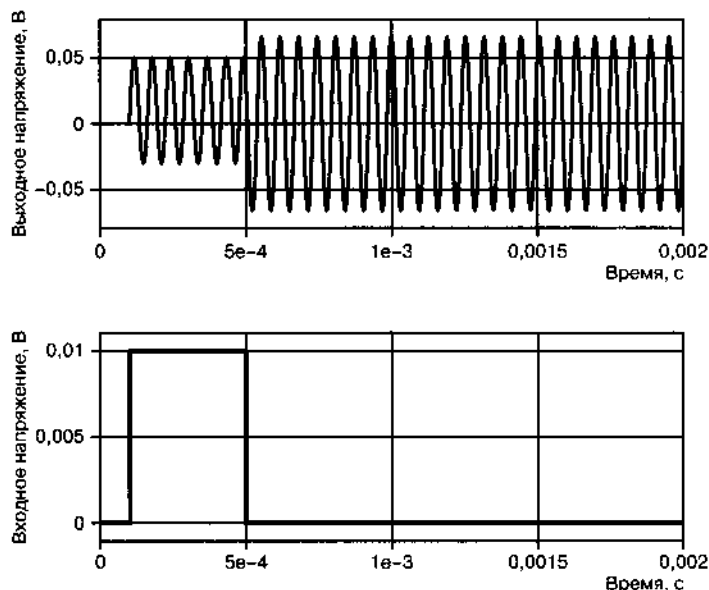
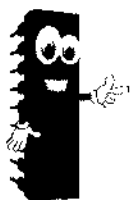


Рис. 12.8. Реакция простого активного фильтра на импульс напряжения



### ПРИЗОВЕМ НА ПОМОЩЬ ПК.

*Не будем и мы чураться возможностями программы моделирования, как то: несколько «осциллографов», множество компонентов на любой вкус, и отсутствие затрат при неудачных экспериментах — виртуальные транзисторы не горят.*

В радиоэлектронике часто приходится обращаться к **полосовым фильтрам**. К фильтрам, которые пропускают определенную полосу частот. Идеальный фильтр определяется математическим описанием интервала, его АЧХ похожа по форме на прямоугольный импульс. Но идеальным все бывает на бумаге, в жизни приходится искать приближение к идеалу.

Попробуем самостоятельно создать что-то, что напминало бы по форме амплитудно-частотной характеристики прямоугольный импульс. Вспомним АЧХ колебательного контура (рис. 3.13). Формально мы можем считать, что это **полосовой фильтр на одну частоту**.

С другой стороны, как ни крути, мы получили АЧХ идеальной катушки индуктивности и конденсатора. Реальная катушка индуктивности наматывается из провода (или изготовлена из проводника), который имеет сопротивление. Добавим это сопротивление к индуктивности (рис. 12.9).



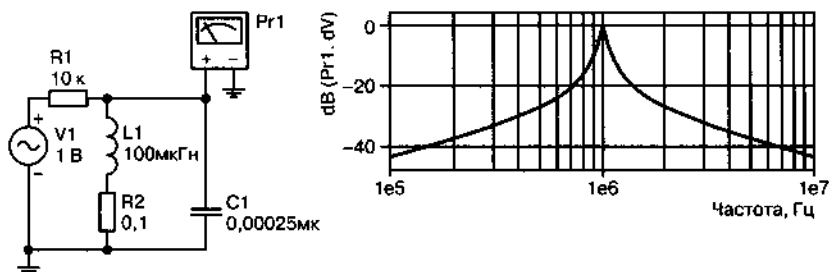


Рис. 12.9. АЧХ колебательного контура, приближенного к реальности

## О полосовом фильтре

Да, мы несколько ухудшили избирательность, но не приблизились к решению создания полосового фильтра. Попробуем подойти к решению иначе. Мы знаем, что сопротивление параллельного колебательного контура на частоте резонанса максимально. Его называют **характеристическим сопротивлением колебательного контура**, которое равно либо реактивному сопротивлению индуктивности, либо реактивному сопротивлению конденсатора на частоте резонанса.

Выведем формулу этого сопротивления (хотя она известна), обозначив его  $R_{к.к}$ , используя равенство сопротивлению индуктивности (для удобства). Итак, частота резонанса определяется формулой:

$$F_p = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

Тогда характеристическое сопротивление запишется так:

$$R_{к.к} = 2\pi F_p L = 2\pi L / 2\pi\sqrt{LC} = L/\sqrt{LC}$$

Возведем в квадрат обе части:

$$R_{к.к}^2 = L^2/LC = L/C$$

Осталось извлечь квадратный корень, чтобы получить формулу:

$$R_{к.к} = \sqrt{L/C}$$

Рассчитаем сопротивление для контура на рис. 12.9:

$$R_{к.к} = \sqrt{(100 \text{ мкГн} / 250 \text{ пФ})} = 632 \text{ Ом}$$

Зная характеристическое сопротивление, мы можем провести эксперимент.

Программа моделирования позволяет нарисовать несколько графиков АЧХ, меняя один или несколько параметров. Воспользуемся этой возможностью, чтобы посмотреть, как влияет на АЧХ изменение сопротивления, шунтирующего контур (рис. 12.10).

Выбрав один из графиков, прищурив один глаз и закрыв второй, мы можем утверждать, что получили в первом приближении полосовой фильтр. Утверждать мы можем, но не очень убедительно.

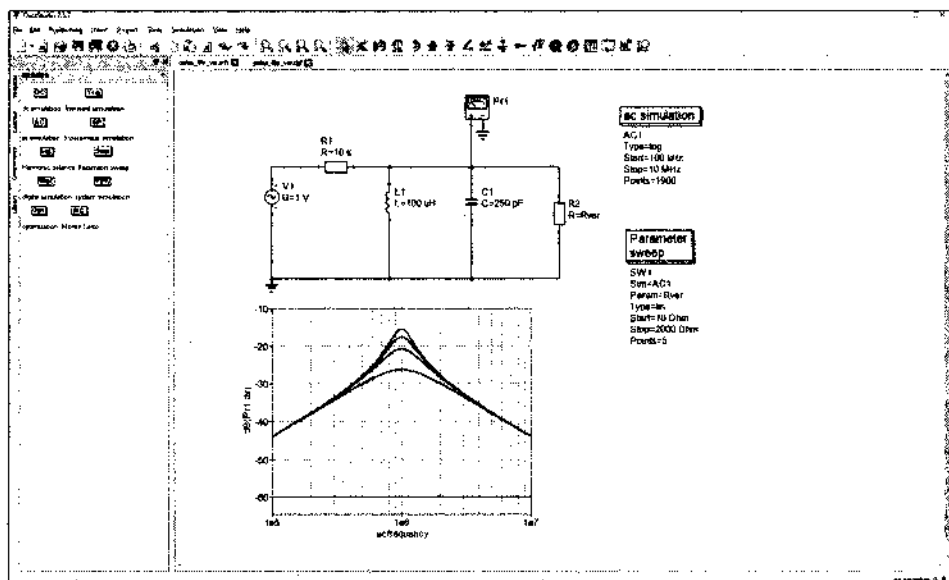


Рис. 12.10. Эксперимент с шунтирующим резистором и колебательным контуром

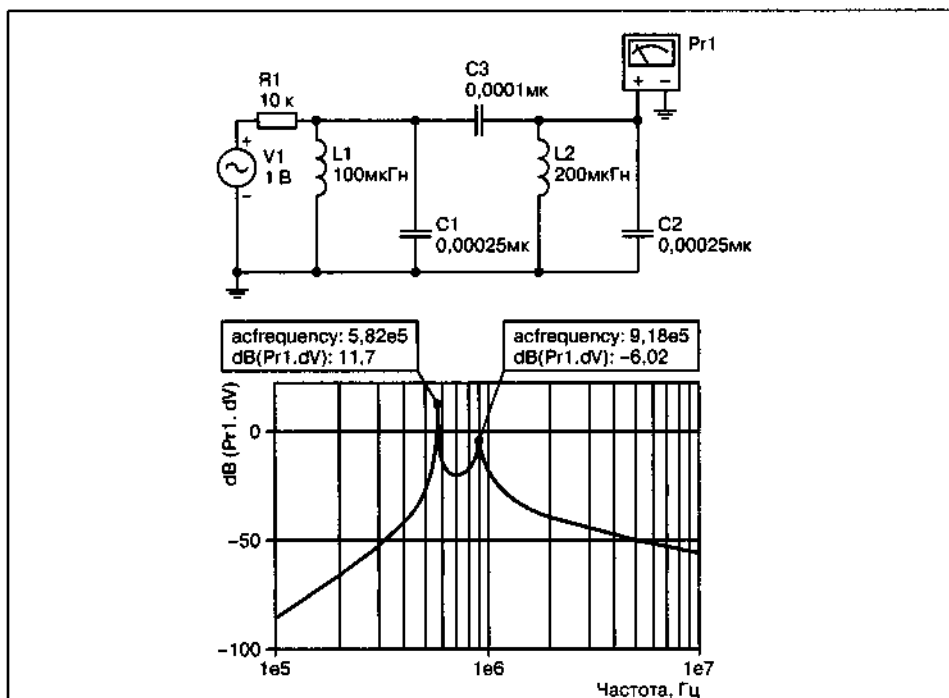


Рис. 12.11. АЧХ двух колебательных контуров

Какую бы полосу частот мы не выбрали, спад частот за границами выбранного диапазона слишком небольшой, а неравномерность передачи сигнала внутри полосы пропускания слишком велика.

Попробуем **еще один вариант**. Вспомним, что полосовой фильтр имеет две частоты ограничения. Дополним нашу конструкцию еще одним колебательным контуром (рис. 12.11).

Теперь можно даже не закрывать второй глаз: мы получили достаточно плохой, но полосовой фильтр. А, главное, получили представление о том, чем приходится заниматься специалистам, когда они решают подобную задачу. Осталось посмотреть, как им в этом помогает компьютер.

Существуют многочисленные программы для расчетов и создания именно фильтров. Кроме них есть калькуляторы, помогающие производить расчеты.



Калькулятор в Интернете для расчетов RCL фильтров. Вы можете использовать его, если у вас возникает такая необходимость, а использовать программы нет желания.



## Утилита создания фильтра с заданными параметрами

Но, если вы не против, заглянем в программе QucsStudio в раздел *Tools*. Выберем пункт *Filter Synthesis*. Это приведет нас к окну настройки «наших пожеланий» в части фильтров (рис. 12.12).

Эта подпрограмма предназначена для осмысленного, но быстрого получения разнообразных фильтров. Достаточно выбрать нужные параметры в соответствующих окнах, ввести нужные данные, чтобы получить работающий вариант фильтра.

В окошке *Realization* выбирается характер фильтра: лестничный LC-фильтр, связанные резонаторы, активный фильтр и т. д.

В окошке *Filter type* выбирается тип фильтра: есть фильтры Бесселя, Чебышева, Лежандра, фильтр Золоторева-Кауэра и т. п.

В окошке *Order* добавляется порядок выполнения фильтра — чем выше порядок, тем сложнее фильтр, но тем лучше его параметры. В зависимости от характера фильтра «оживают» окошки начальной и конечной частоты (*Start frequency*, *Stop frequency*) и два следующих.

В окошке *Pass band ripple* для полосового фильтра можно задать неравномерность в полосе пропускания. В последнем из этого ряда окошке задается импеданс сопротивления согласования.

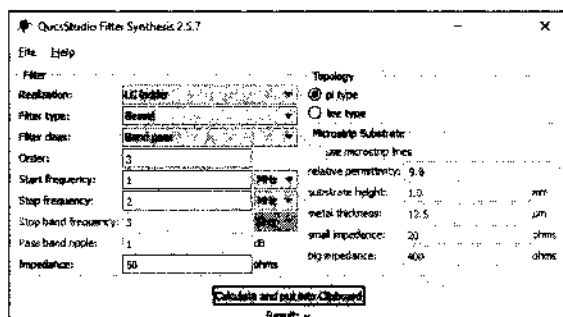


Рис. 12.12. Окно задания параметров фильтра в программе QucsStudio

Кроме этих параметров, можно:

- ♦ выбрать П-образным или Т-образным будет фильтр (*pi type, tee type*), отметив эту возможность в разделе топологии;
- ♦ рассчитать микрополосковый фильтр, что особенно актуально для СВЧ фильтров.

Для начала я выбрал только характер фильтра, полосовой (Band pass) и изменил полосу частот пропускания от 1 МГц до 2 МГц. После расчетов (кнопка **Calculate and put into Clipboard**) готовый результат оказывается в буфере обмена; его можно вставить, как любой другой скопированный фрагмент, командой *Paste* в рабочее поле. По умолчанию моделируются S-параметры, но попробуем повторить эксперимент на рис. 12.11. Это не отвечает условиям работы фильтра, но к ним мы вернемся немного позже (рис. 12.13).

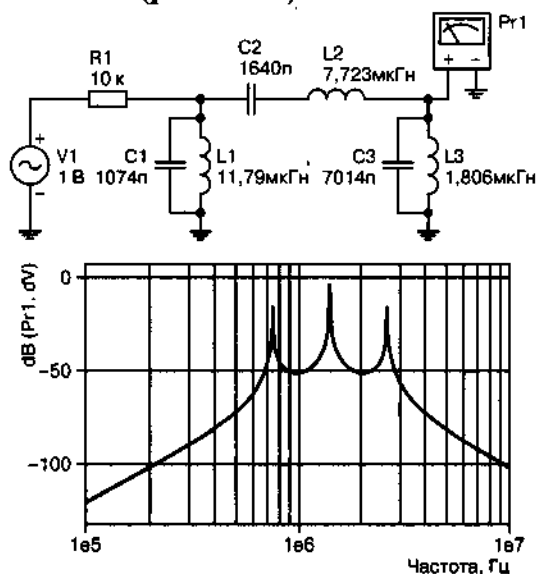


Рис. 12.13. Эксперимент с готовым фильтром от QucsStudio

Ненамного лучше того результата, что получился у нас. Хотя спад частотной характеристики за пределами полосы пропускания существенно лучше, чем получилось в наших экспериментах. Но неравномерность в полосе пропускания, согласитесь, слишком велика. Десятки децибел — это слишком много.

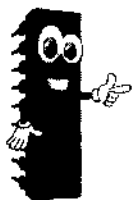
## || Как решаются проблемы || при создании фильтров

При разработке фильтров, как во многих других случаях, приходится искать компромисс между желанием получить нужные параметры и сложностью реализации схемы. Иногда компромисс найти не получается, тогда приходится искать новые решения. В СВЧ схемотехнике к таким новым решениям можно отнести использование микрополосковых линий. И эту реализацию можно испробовать в программе QucsStudio. Раздел компонентов, относящихся к линиям передачи информации, содержит ряд компонентов для этой цели.

**Радиолюбитель:** *Мы все испробовали с помощью инструментов программы?*

Думаю, не все! Конструкцию фильтра можно изменить, выбирая тип фильтра, который разработан инженерами на основе известного к тому времени математического аппарата, задавая порядок фильтра и согласующую нагрузку. Повторим эксперимент **рис. 12.13**, изменив требуемые параметры (**рис. 12.14**).

Мы говорили об активных фильтрах, использующих операционные усилители. Развитие технологии исполнения микросхем таких усилителей делает очень привлекательным их использование. В одном корпусе может находиться, например, четыре независимых усилителя, как в микросхеме LM324.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Две такие микросхемы позволят реализовать фильтр четвертого порядка, который, очевидно, имеет очень хорошие параметры.*

Для разработки активных фильтров на операционных усилителях достаточно в окне *Realization* выбрать характер фильтра *active*. Программа QucsStudio позволяет и в этом случае использовать задание всех тех параметров, что есть для LC-фильтров.

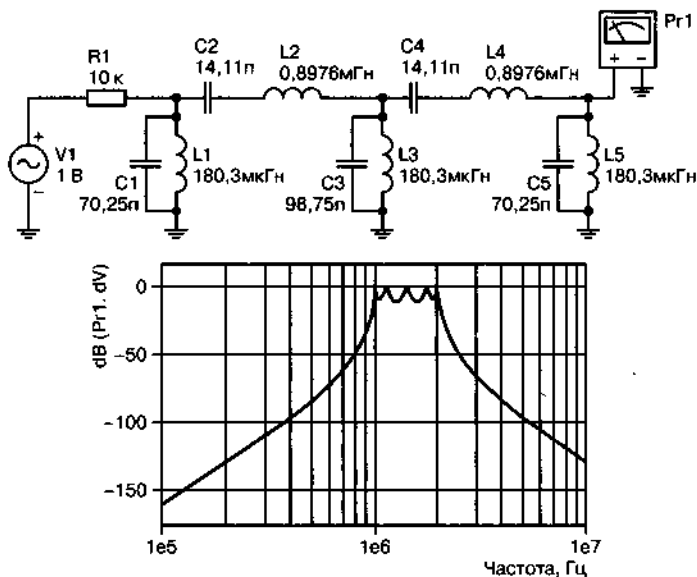


Рис. 12.14. Эксперимент с фильтром Чебышева пятого порядка

Как для простых и сложных пассивных фильтров завершение разработки — это использование кнопки **Calculate and put into Clipboard** с последующим использованием из выпадающего меню, если щелкнуть правой клавишей мышки в рабочем поле чертежа, команды *Paste*. Вы, надеюсь, не будете против получения готового результата за несколько щелчков мышки (рис. 12.15)?

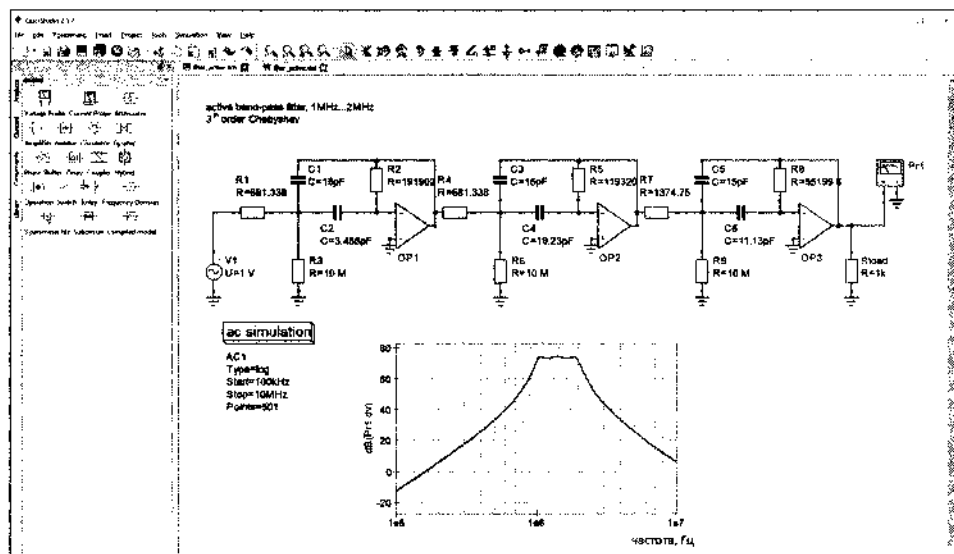


Рис. 12.15. Активный фильтр по рекомендации QucsStudio

Фильтры, которые мы рассмотрели, предназначены для работы на высоких частотах, поэтому предложенные в программе варианты для LC-фильтров по умолчанию настроены на 50-омное согласование. Но при желании и этот параметр можно изменить. Так волновое сопротивление витой пары компьютерного кабеля 120 Ом. Если вам понадобится использовать фильтр на входе или выходе витой пары, вы можете легко это сделать.

Просматривая готовые фильтры, вы не могли пройти мимо факта — в качестве выходных параметров применяют S-параметры. Вспомним главу 1, где в разделе «Малосигнальные параметры» мы говорили о них. Параметр, который нас сейчас интересует — это S21 (рис. 12.16).

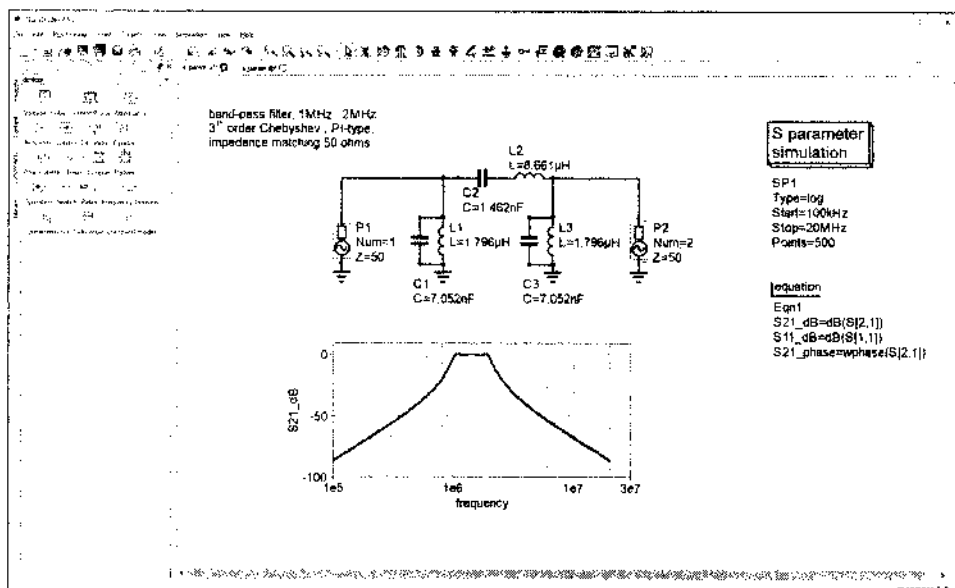


Рис. 12.16. Передача сигнала от входа к выходу фильтра

# УСИЛИТЕЛИ

## Ламповый усилитель: первенец звукоусиления

Первые усилители были на электронных лампах. Эффект излучения электронов нагретой нитью накала запатентовал Эдисон. Британец Флемминг, в свою очередь, запатентовал двухэлектродную радиолампу в качестве прибора преобразования переменного тока в постоянный. Но начало активной схемотехники, видимо, положил американский инженер Ли де Форест, который ввел третий электрод, сетку, в электронную радиолампу, получив триод.

Сегодня не резон проверять, как работает триод на макетной плате. Разумнее использовать программу моделирования, в которой есть электронная радиолампа (рис. 13.1).

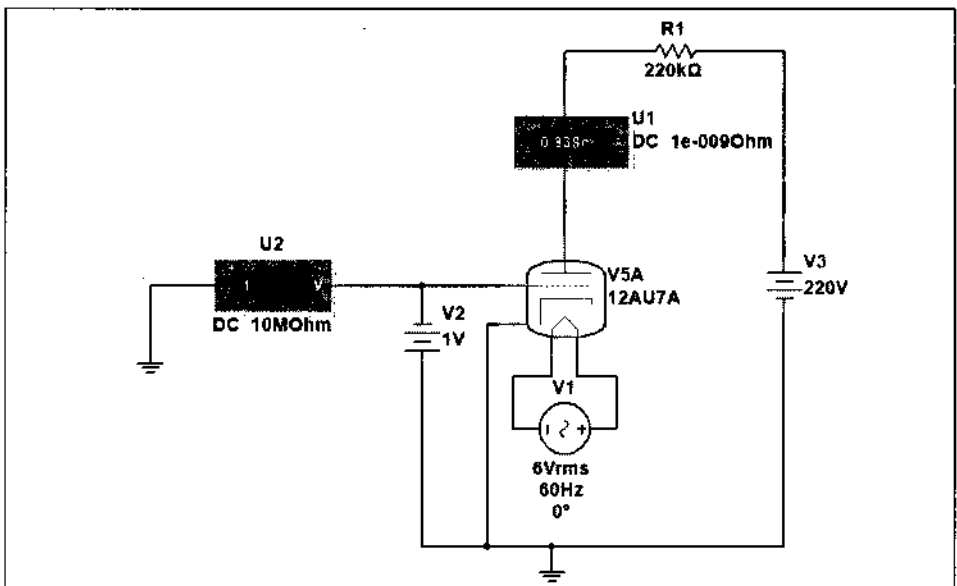


Рис. 13.1. Работа триода в программе Multisim



Источник переменного напряжения V1 разогревает нить накала, с помощью которой катод формирует облако электронов. Электрическое поле, создаваемое источником постоянного напряжения V3, заставляет электроны перемещаться к аноду. В анодной цепи появляется электрический ток.

**Радиолюбитель:** Электроны, создающие ток, перемещаются от минуса к плюсу. Почему мы рассматриваем обычно постоянный ток от плюса к минусу?

Когда-то ток рассматривали с точки зрения жидкости, которая перетекала от плюса к минусу, поэтому и «ток, течение». В технике оставили исторически сложившееся направление тока от плюса к минусу.

## || Смещение на сетке триода

Напряжение, прикладываемое к сетке, мешает электронам двигаться к аноду. При этом, можно убедиться, ток в цепи сетки отсутствует. В зависимости от напряжения на сетке (отрицательное напряжение относительно катода) ток в анодной цепи будет меняться (рис. 13.2).

Если без переменного напряжения для разогрева нити накала пока не обойтись, то использовать еще один источник напряжения для создания смещения на сетке, очень неудобно.

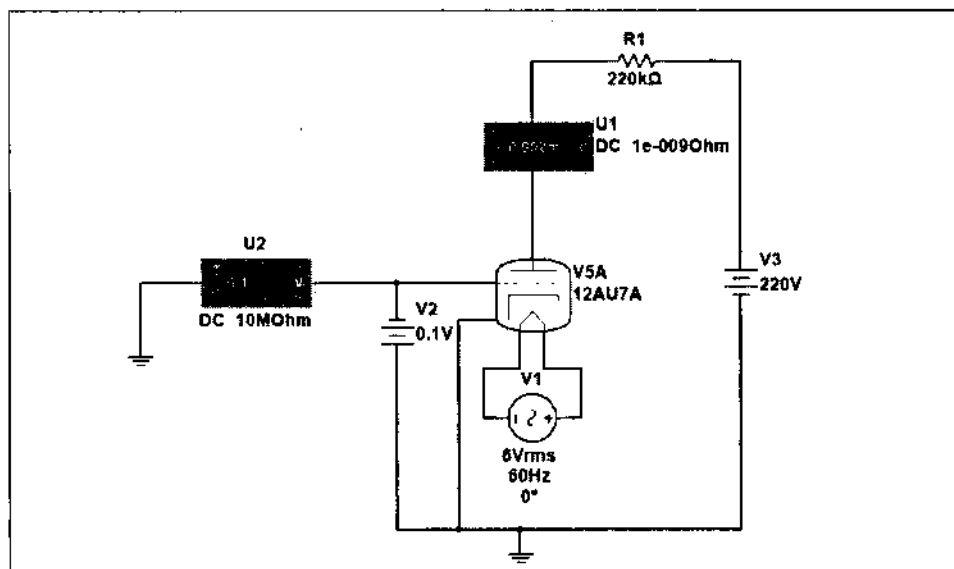
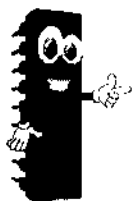


Рис. 13.2. Изменение тока в анодной цепи под действием напряжения на сетке



## СПРАВКА.

Процесс миниатюризации электронных вакуумных радиоламп привел к отказу от подогреваемых катодов и переходу на автоэлектронную эмиссию с холодных катодов специальной формы из специально подобранных материалов. Это дает возможность довести размеры устройств до микронных размеров и использовать при их изготовлении стандартные техпроцессы полупроводниковой индустрии. В настоящее время такие конструкции активно исследуются.

Википедия

С источником смещения вступает в свои права схемотехника (рис. 13.3).

Ток от катода к аноду, протекая по резистору R2, создает падение напряжения. Из-за отсутствия сеточного тока, это напряжение через резистор R3 приложено к сетке, создавая начальное смещение. Теперь можно от источника сигнала подать напряжение на сетку, которое, складываясь алгебраически с напряжением смещения, будет формировать повторение сигнала в анодной цепи. Небольшое напряжение на сетке (сравнительно с анодным напряжением) создает большее падение напряжения резисторе R1 в цепи анода. Так сигнал усиливается.

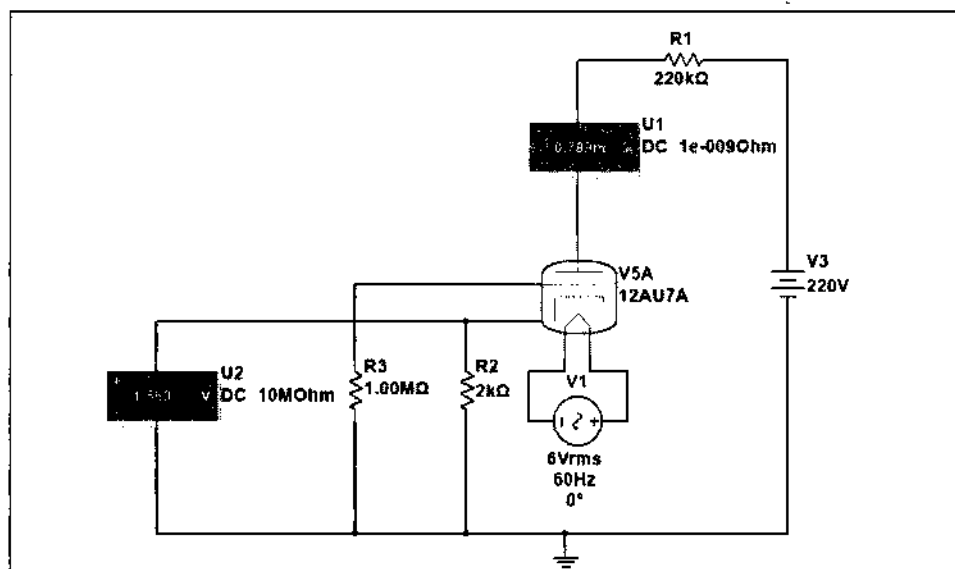
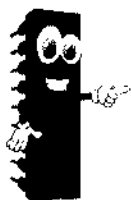


Рис. 13.3. Использование резистора в цепи катода для создания напряжения смещения

## Что такое «тяни-толкай»

В усилителях на электронных лампах впервые применили двухтактные выходные каскады (*push-pull*). Для работы таких выходных каскадов в усилителях звуковой частоты были нужны переходные трансформаторы. Входной трансформатор формировал противофазные сигналы для каждого плеча каскада усиления, а выходной трансформатор согласовывал высокое выходное сопротивление радиоламп с низким нагрузочным сопротивлением громкоговорителя.



### ЭТО ВАЖНО.

*Если заглянуть сегодня в раздел трансформаторов и раздел микросхем усилителей мощности, то можно увидеть следующее. Трансформатор может стоить в несколько раз дороже готового усилителя, скажем, с выходной мощностью 10 Вт. Когда впервые решили создать усилитель класса Hi-Fi (усилитель высокой точности звуковоспроизведения), когда и появился сам термин Hi-Fi, то разработчики старательно уходили от ответа на вопрос о стоимости трансформаторов для этого чудесного усилителя. Ситуация изменилась только с повсеместным использованием полупроводниковых триодов, транзисторов.*

Со временем радиолампы усовершенствовались, добавлялись электроды, использовались новые материалы, но оставалась очень неприятная ситуация с высоким питающим напряжением. В первую очередь, для автономных устройств. И эта проблема была решена с появлением полупроводниковых приборов.

Хотя туннельные диоды и могут работать в качестве усилителя, любой транзистор в этом отношении гораздо удобнее. Долгое время к биполярным транзисторам относились так, как относились к так полюбившимся радиолампам.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Но биполярные транзисторы, что их отличает от радиоламп, токовые элементы. Управляющий электрод транзистора, база, должна обеспечиваться током для работы, чего не было у радиолампы.*

Со временем этот факт перестал быть интересен, и если у лампового радиоприемника измеряли напряжение на сетке, то у транзистора измерять напряжение на базе приходится крайне редко.

Зато с появлением транзисторов у радиолюбителей открылось второе дыхание. Транзистор решал одну из проблем: для работы детектора нужно было усилить напряжение от колебательного контура. Включение каскада усиления сигнала перед детектором снимало вопрос слабых сигналов. Пусть не полностью, но снимало.

### Транзисторный усилитель всегда имеет что-то «общее»

Транзисторные усилители можно использовать в схеме с общим эмиттером (чаще всего применяется), в схеме с общей базой и в схеме с общим коллектором.

**Радиолюбитель:** Понятно, что у транзистора три электрода. Но зачем столько схем подключения транзистора?

Начнем с уточнения: речь идет о биполярных транзисторах. У полевых транзисторов тоже три электрода, но я не встречал схем с общим стоком. Может быть, потому что знаю я не все.

Самая употребительная схема включения биполярного транзистора — это **схема с общим эмиттером**. При таком включении транзистор усиливает и напряжение сигнала, и ток. Входной каскад усилителя высокой частоты в радиоприемнике часто имеет в первом каскаде транзистор с общим эмиттером. Известные всем радиолюбителям приемники 1-V-2 — здесь 1 — это число каскадов ВЧ, V — детектор, а 2 — два каскада усиления низкой частоты — строились... Впрочем, вот схема радиоприемника 2-V-2 (рис. 13.4).

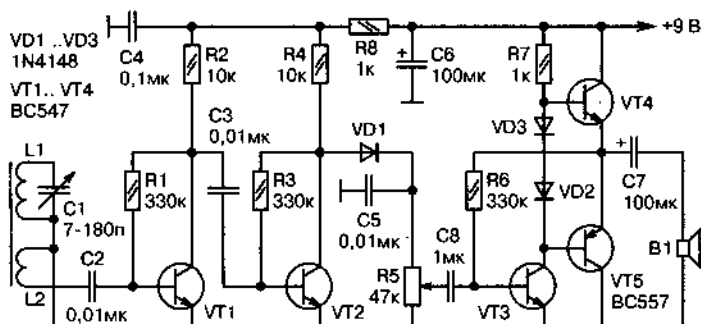


Рис. 13.4. Радиоприемник по схеме 2-V-2

Сегодня радиолюбителю создавать такой радиоприемник «по полной программе» есть резон только в том случае, когда человек любит все делать своими руками, от пайки до декоративных решеток и шильдиков. И даже таким любителям есть смысл использовать современную микросхему радиоприемника. Но собрать схему на макетной плате есть смысл всем начинающим радиолюбителям, чтобы самому посмотреть на экране осциллографа все сигналы.

## || Такие разные || схемы усилителей

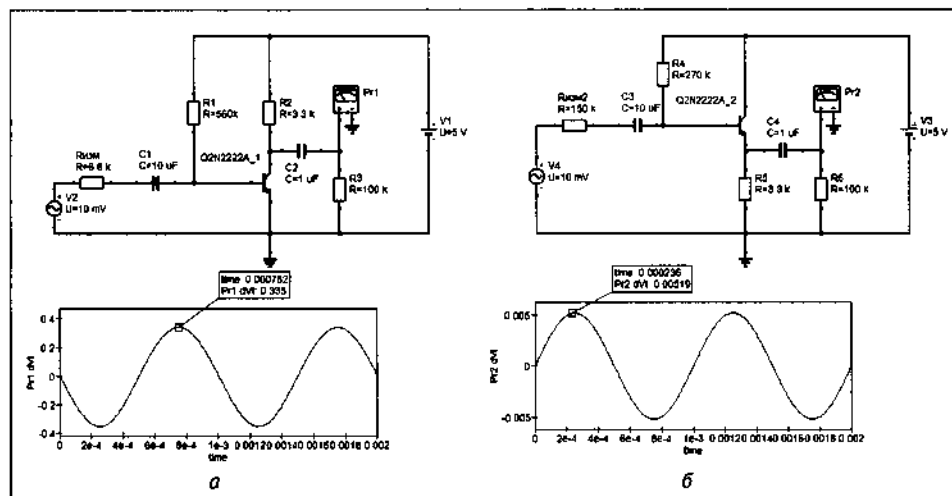
Первый каскад усиления высокой частоты (и второй тоже) собран по схеме включения транзистора с общим эмиттером. То есть, входной сигнал и выходной сигнал имеют общее подключение к эмиттеру. Но такое построение каскада усиления имеет низкое входное сопротивление, обусловленное сопротивлением перехода база-эмиттер и сопротивлением материала эмиттера. Поэтому подключить транзистор к колебательному контуру  $L1C1$  означает ухудшить его избирательность (как было в нашем эксперименте, рис. 12.10).

Чтобы сохранить такой важный параметр как избирательность, подключают входной контур радиоприемника с помощью катушки связи  $L2$ , имеющей гораздо меньше витков, чем катушка  $L1$ . Это уменьшает сигнал на входе усилителя, но сохраняет избирательность.

Альтернативой может служить включение первого каскада по схеме с общим коллектором. Сравним входное сопротивление двух таких каскадов, используя метод, который можно применить и на практике (рис. 13.5).

Метод простой: используем в качестве резистора  $R_{изм}$  на схеме **переменный резистор**. Когда его сопротивление равно нулю, измеряем выходной сигнал. Затем, меняя сопротивление, добиваемся, чтобы выходное напряжение стало вдвое меньше. Измеренное сопротивление переменного резистора даст значение входного сопротивления каскада. По крайней мере, на низких частотах этот метод должен работать.

Входное сопротивление каскада усиления с общим коллектором заметно выше. Осталось определиться, есть ли смысл его применять в качестве первого каскада усиления ВЧ. Положим, что катушка связи  $L2$  (рис. 13.4) в 20 раз уменьшает уровень сигнала входного контура. Прямое подключение каскада с общим коллектором в 20 раз увеличит входной сигнал. Но усиление по напряжению этого каскада меньше единицы. На рис. 13.5 уменьшенное вдвое напряжение 5 мВ при входном напряжении 10 мВ.



**Рис. 13.5.** Определение входного сопротивления каскада усиления:  
 а — усилитель с общим эмиттером; б — усилитель с общим коллектором

На схеме (рис. 13.5, а) при входном напряжении 10 мВ выходное напряжение порядка 600 мВ. Усиление сигнала по напряжению около 60. Есть о чем подумать.

Появление полевых транзисторов, работающих на высокой частоте, решило проблему большого входного сопротивления, а усиление по напряжению остается в силе.

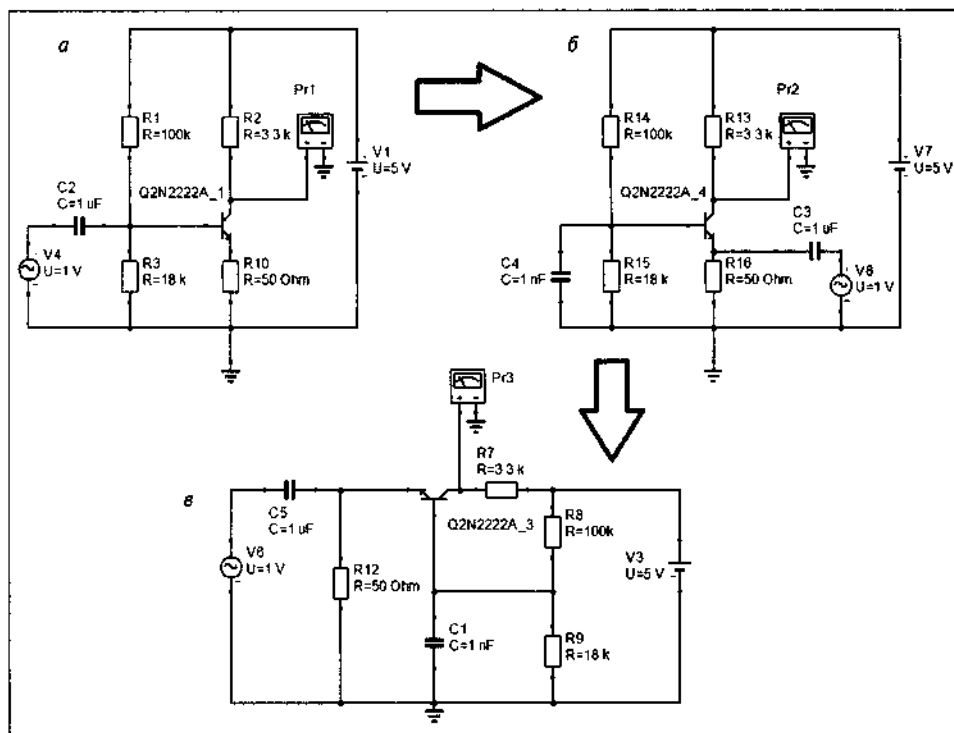
Входное сопротивление каскада на биполярном транзисторе с общей базой еще меньше, чем у каскада с общим эмиттером.

**Радиолюбитель:** Дает ли это какое-либо преимущество в применении к устройствам радиоэлектроники?

## От общего эмиттера к общей базе

Для ответа можно рассмотреть схему входного усилителя телевизора. Но начнем с того, как организовать включение биполярного транзистора с общей базой. За основу примем схему с общим эмиттером, вспомним, что общей базой должна быть для сигнала (рис. 13.6).

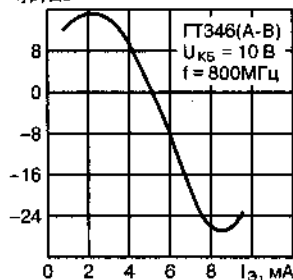
Схема включения транзистора с общей базой оказалась удобна в телевизорах с переходом их на транзисторное исполнение. Входное сопротивление для согласования с волновым сопротивлением антенного кабеля было 75 Ом, поэтому включение транзистора с общей базой вполне устраивало по этому параметру усилитель ВЧ. А тот факт,



**Рис. 13.6.** Схема с общей базой как преобразование схемы с общим эмиттером:  
а – исходная схема; б – схема с общей базой; в – привычный вид схемы с общей базой

что в схеме с общей базой у транзистора несколько выше граничная частота, давал возможность использовать не слишком высокочастотные тогда модели.

Кур, дБ



**Рис. 13.7.** График зависимости усиления транзистора ГТ346А от тока эмиттера

Дополнительной привлекательностью для такого решения оказалась чувствительность, например, транзистора ГТ346А к току эмиттера (связанного с током коллектора). Коэффициент усиления сильно зависел от этого тока (рис. 13.7), что позволило применить схему автоматической регулировки усиления. Телевизор должен был хорошо работать и вблизи телецентра, и вдали от него.

Подавая на базу напряжение обратной связи, удавалось достигать желаемого результата, как это было сделано в селекторе каналов (рис. 13.8).

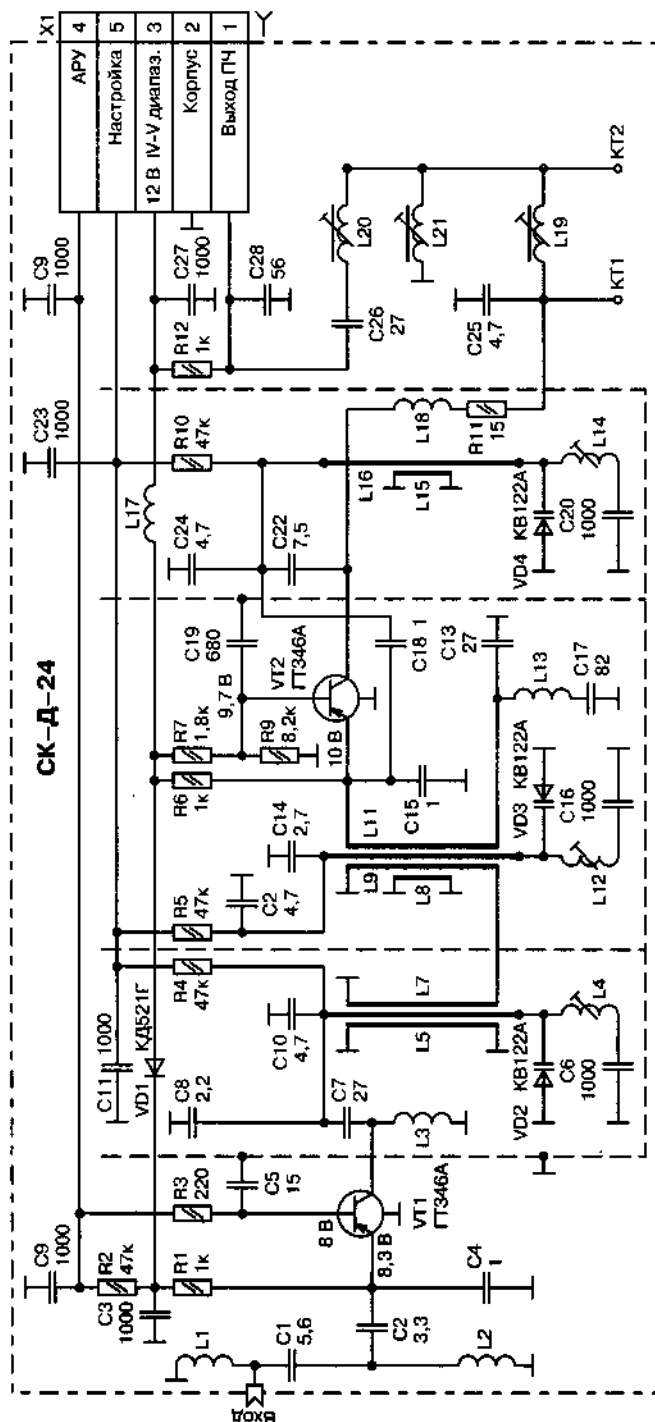
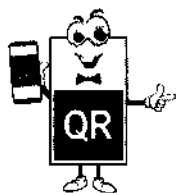


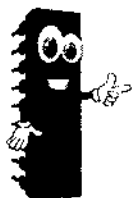
Рис. 13.8. Схема селектора каналов с АРУ





Прочитать всю статью про АРУ вы можете по ссылке.

Там же вы познакомитесь с тем, как применяют АРУ в усилителе низкой частоты.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Применение транзисторов в двухтактных усилителях мощности избавило, наконец, от необходимости применять согласующие трансформаторы.

Низкое выходное сопротивление транзисторных схем усиления, особенно применение транзисторов разного типа, как это сделано в схеме на **рис. 13.4**, существенно упростило производство радиовещательной аппаратуры. Выходные каскады транзисторных усилителей мощности можно выполнить на транзисторах одной структуры, разной структуры, а можно использовать полевые транзисторы.

## Режимы работы выходного каскада

Самый простой выходной каскад, работающий в **режиме В**, когда ток через транзисторы отсутствует в отсутствии сигнала, имеет очень высокий КПД. Для сравнения **режим А** позволяет получить КПД не более 50%.

**Радиолюбитель:** Что означает в данном случае КПД?

В данном случае КПД, грубо говоря, означает: выходная мощность усилителя 10 Вт. В режиме В на транзисторах рассеивается мощность 3 Вт. В режиме А рассеивается мощность 10 Вт. Для работы транзисторов их нужно охлаждать, используя радиаторы. В первом случае радиаторы гораздо меньше. И пытаться согреть атмосферу, бесполезно расходуя энергию, не самая хорошая идея. Согласитесь, возникает новый вопрос.

**Радиолюбитель:** Почему не использовать только режим В?

Есть проблема со свойствами транзистора. Если входной сигнал уменьшается до определенного значения, то транзистор закрывается, не передавая дальнейшего изменения сигнала. Появляется характерное искажение выходного сигнала, которое называют ступенькой. Впрочем, проще показать, чем рассказывать об этом (**рис. 13.9**).

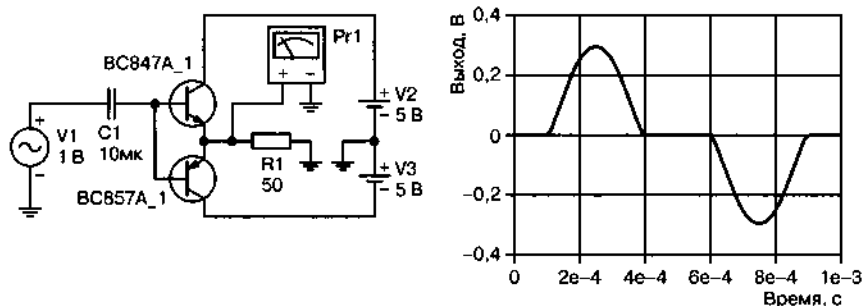
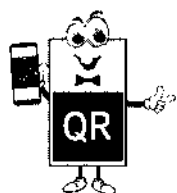


Рис. 13.9. Искажения выходного каскада в режиме В

Чтобы избежать подобных искажений, в усилителях мощности применяют **режим АВ**, подавая смещение на транзисторы ( $R7$ ,  $VD2$ ,  $VD3$ ,  $VT3$  рис. 13.4). В усилителях мощности звуковой частоты, помимо выбора режима работы выходных транзисторов, обнаружилось много других проблем, которые решались тем или иным образом. Применяли «вольтодобавку», чтобы получить максимальную эффективность использования транзисторов, применяли обратную связь для получения минимальных искажений. Впрочем, почему применяли, скорее оговорка, применяют и по сей день.



Пополнить свои знания о транзисторных схемах push-pull вы можете, прочитав статью.



Но там, где искажения такого характера не имеют значения, применяют **режим В**. Например, так сделаны [13] выходные каскады КМОП цифровых схем (рис. 13.10).

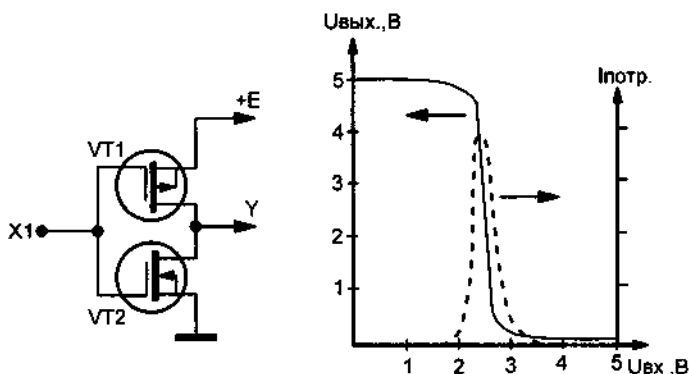


Рис. 13.10. Инвертор КМОП и его переходная характеристика

Особую роль в схемотехнике играет обратная связь. Я бы выделил положительную, отрицательную и паразитную.

## Обратная связь



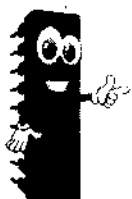
### СПРАВКА.

*Обратная связь (англ. feedback «обратная подача») – в широком смысле означает отзыв, отклик, ответную реакцию на какое-либо действие или событие.*

*Википедия*

При передаче части сигнала с выхода на вход мы получим искомую «feedback»:

- если сигнал обратной связи совпадает с входным сигналом, мы получим положительную обратную связь;
- если сигнал обратной связи противофазен входному сигналу, мы получим отрицательную обратную связь.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Паразитная обратная связь возникает между рядом расположенными компонентами электрической схемы (по «недогляду» конструктора) и может быть как положительной, так и отрицательной.*

Резистор в цепи эмиттера транзистора (R10 рис. 13.6, а) создает **последовательную отрицательную обратную связь**, стабилизирующую рабочую точку транзистора. Если зашунтировать этот резистор конденсатором, то обратная связь будет по постоянному току, иначе и по постоянному току, и по переменному. На резисторе в цепи эмиттера падает часть выходного напряжения.

Но это напряжение находится в противофазе с входным напряжением. И это напряжение последовательно (от эмиттера к базе) алгебраически складывается с входным напряжением. Поэтому такая связь называется последовательной.

Если соединить резистором коллектор транзистора с базой, то мы получим параллельную обратную связь: с выхода (коллектор) каскада через делитель, образованный резистором обратной связи и входным сопротивлением, часть выходного сигнала прикладывается к входу усилителя, прикладывается параллельно входу.

**Радиолюбитель:** Почему мы говорим об отрицательной обратной связи, прячась за красивым словом «противофазный»?

Простая цепочка рассуждений:

- ♦ мы увеличиваем напряжение на базе, ток базы возрастает;
- ♦ рост тока базы увеличивает ток коллектора, что приводит к увеличению падения напряжения на резисторе в цепи коллектора;
- ♦ напряжение на коллекторе падает, поскольку сумма напряжения на коллекторе и на резисторе в цепи коллектора равна напряжению питания (константе).

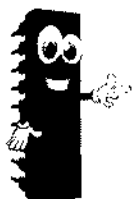
Убирая рассуждения: увеличение напряжения на базе уменьшает напряжение на коллекторе (на выходе). Увеличение противоположно (противофазно) уменьшению.

## Насколько важны фазовые сдвиги

В главе 12 (рис. 12.4) мы говорили о фазовом сдвиге фильтром выходного напряжения на 180 градусов. Если такой фильтр включить вместо резистора между коллектором и базой, то отрицательная обратная связь из-за сдвига фазы выходного напряжения превратится в положительную. При этом усилитель превратится в генератор. Часть выходного напряжения будет не вычитаться из входного, а складываться с ним, увеличивая выходное напряжение...

При отрицательной обратной связи улучшаются некоторые параметры каскада усиления: лучше соотношение сигнал/шум, меньше нелинейные искажения, шире полоса пропускания. Но достигается это уменьшением усиления.

Когда усилители звуковой частоты стали выполнять на транзисторах, выяснилось, что глубину обратной связи (величину части выходного напряжения) можно сделать очень большой, что не получалось с ламповыми усилителями. Первые любительские усилители могли иметь «потрясающие» параметры: полоса частот до 100 кГц с нелинейными искажениями на частоте 1000 Гц равными 0,01%. Однако могли без видимых причин искажать звук, более того, выходить из строя.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

Оказалось, что без специальных мер глубокая отрицательная обратная связь могла приводить к потере устойчивости, то есть, самовозбуждению на частотах в несколько десятков килогерц.

Громкоговоритель эти частоты, увы, не воспроизводит, их не слышно. Но искажения появляются. И появляется еще одна **неприятность**: с ростом частоты увеличивается мощность, рассеиваемая выходными транзисторами. Правильно рассчитанные теплоотводы в рабочей полосе частот уже не справлялись с отводом тепла вне этих частот.

Перейдем к схемам усилителей для повторения в любительских условиях.

## Усилитель звуковой частоты на транзисторах одной проводимости

Рассмотрим усилитель звуковой частоты на транзисторах одной проводимости (рис. 13.11).

Два выходных транзистора одинаковы, что сегодня не столь актуально. Но, получается, что VT3 включен по схеме с общим коллектором, VT4 — с общим эмиттером. Усиление таких каскадов разное, первый имеет усиление по напряжению меньше единицы, второй больше. Отчасти это должно компенсироваться тем, что VT3 подключен к коллектору транзистора VT2, тогда как VT4 к эмиттеру. Ток эмиттера можно считать равным току коллектора, однако резистор R7 шунтирован низким входным сопротивлением транзистора VT4 [11].

Транзисторы VT2 и VT4 включены по схеме Дарлингтона (составной транзистор), что тоже можно отнести к особенностям схемы. Однако главная особенность — схема работает в **режиме В**. Чему, видимо, способствует диод VD1, закрывающий транзистор VT3, когда тот не участвует в формировании выходного сигнала.

Наличие в этом режиме «ступеньки» компенсируется отрицательной обратной связью, R6R3C2. Дополнительно в подобных схемах «сту-

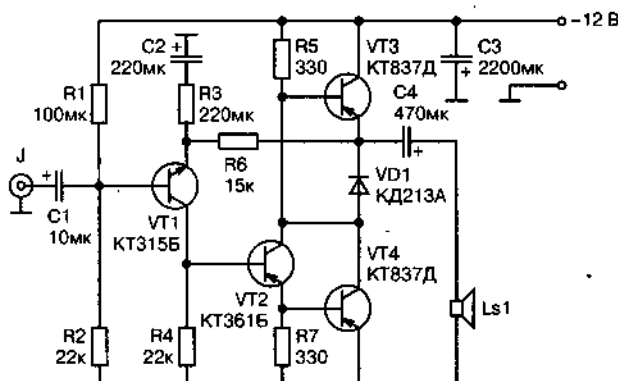


Рис. 13.11. Простой усилитель мощности

пеньку» призваны «выбирать» каскады предварительного усиления: они могут работать, когда выходные транзисторы закрываются.

Отрицательная обратная связь по постоянному току для транзистора VT1 стопроцентная, что должно обеспечивать должные рабочие точки всех транзисторов. На переменном токе обратная связь определяется соотношением резисторов R6 и R3, при условии, что на самой низкой рабочей частоте значением сопротивления конденсатора C2 можно пренебречь.

Нелинейные искажения схемы остаются значительными, что подразумевает ее использование, в первую очередь, для ознакомления с весьма оригинальной схемой либо в программах моделирования (если схема моделируется, например, в программе Multisim), либо на макетной плате. В этом плане интересно попробовать замену выходных транзисторов и транзистора предоконечного каскада.

Выходные транзисторы, указанные на схеме, могут работать (с теплоотводом) до мощности в 20–30 Вт. Смогут ли они, работая при заданном напряжении, выдать «на-гора» более одного ватта, это интересно. Если нет, то им, возможно, не потребуется и радиатор.



### СОВЕТ.

*Словом, паять схему без хорошей проверки не рекомендую, а для экспериментов она очень привлекательна.*

## Усилитель высокой частоты

Радиолюбителям-коротковолновикам может потребоваться **усилитель высокой частоты**. Схема представлена как часть проекта, но полезно на нее посмотреть с точки зрения того, что мы уже узнали о схемах (рис. 13.12).

СВЧ транзистор KT610A включен по схеме с общим эмиттером. Нагрузкой служит ВЧ трансформатор T1. Последовательная обратная связь в цепи эмиттера R4R5 частично скорректирована на переменном

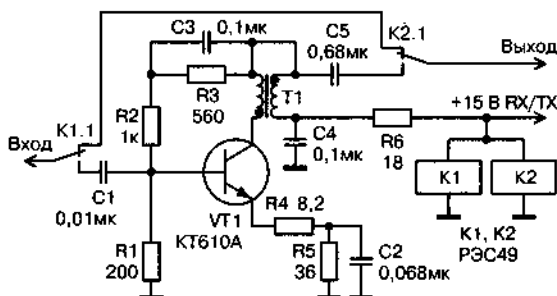


Рис. 13.12. Схема усилителя высокой частоты на 22–24 МГц

токе конденсатором С2 для увеличения усиления. Примечательно, что вторичная обмотка трансформатора использована в качестве дросселя питающего напряжения для развязки по питанию с другими каскадами усиления. Каскад УВЧ подключается при переключении с передачи на прием (Rx/Tx).

Сегодня моделей СВЧ транзисторов достаточно много. Например, возьмем транзистор BFR92A.

Параметры двух транзисторов СВЧ

Таблица 13.1

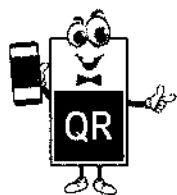
Модель	U <sub>макс.</sub> , В	I <sub>макс.</sub> , мА	P <sub>макс.</sub> , Вт	F <sub>гр.</sub> , ГГц	Кш., дБ
KT610A	26	300	1,5	1	–
BFR92A	15	25	0,3	5	2,1

Я не видел всю схему радиостанции, поэтому затрудняюсь сказать, нужен ли транзистор с мощностью рассеяния 1,5 Вт и допустимым током коллектора 300 мА. Предположим, что это не обязательно.

Почему транзистор BFR92A, я готов пояснить — я хочу моделировать схему в программе QucsStudio, где можно добавить этот транзистор, если верить руководству к программе. Сразу скажу, у меня это получилось криво — пришлось закомментировать подсхему, которая должна учесть влияние корпуса транзистора. Надеюсь, это не мешает транзистору работать.

Штатные транзисторы программы имеют граничную частоту порядка 300 МГц. Нужен ли транзистор СВЧ, тоже не берусь судить. Поэтому хочу сравнить работу каскада при замене транзистора высокочастотным представителем семейства.

Перед тем, как приступить к моделированию, я хочу определить индуктивность обмоток трансформатора. Можно рассчитать ее самостоятельно, но можно использовать бесплатную программу Coil32 (рис. 13.13).



Если вам понадобится эта программа для расчета индуктивностей в своих разработках, вы можете ее скачать с сайта «В помощь радиолюбителю».



Теперь, когда все элементы схемы известны, можно собрать схему в программе QucsStudio. В первую очередь, меня интересует амплитудно-частотная характеристика (рис. 13.14). Чтобы не повторяться, я рядом с графиком для СВЧ транзистора помещу второй для транзистора 2N3904.

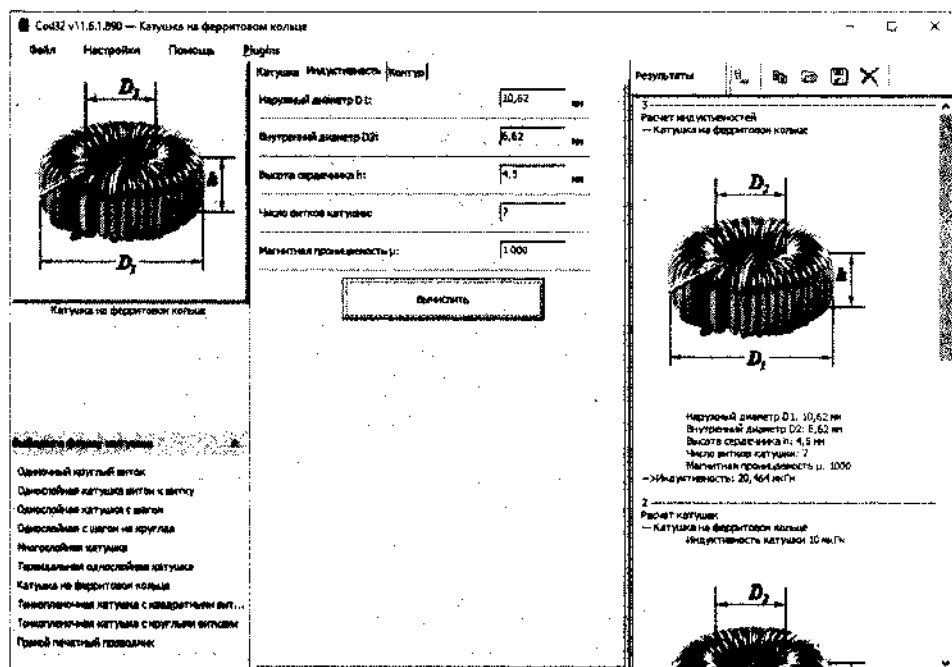
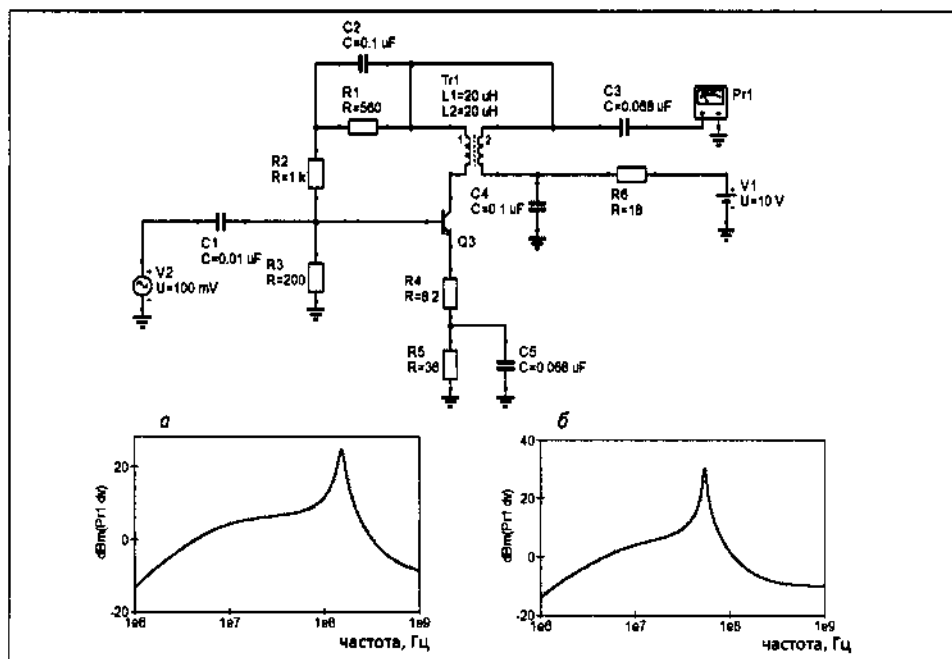


Рис. 13.13. Таблица расчета индуктивности

Рис. 13.14. Моделирование схемы усилителя ВЧ:  
а — транзистор BFR92A; б — транзистор 2N3904



Что-то у меня, видимо, не сложилось, поскольку с СВЧ транзистором максимум усиления приходится на частоту около 200 МГц, а с транзистором ВЧ — около 50 МГц. Усиление на частоте 30 МГц для первого случая составляет около 6 дБ, для второго случая — около 9 дБ.

Если вы решите собрать схему, чтобы проверить на макете, все данные можно найти в первоисточнике [5].



#### СПРАВКА.

*Все-таки, наверное, данные на УВЧ можно привести. УВЧ представляет собой широкополосный усилитель на транзисторе КТ610. Нагрузкой УВЧ служит автотрансформатор, изготовленный на ферритовом кольце проницаемостью 600–1000, и размерами 10×6×4,5 мм (10×6×5 мм). Обмотки содержат по 7 витков, их наматывают одновременно двумя свитыми между собой проводами ПЭЛШО-0,31-0,35 (ПЭВ-2 0,31–0,35). Шаг скрутки 10 мм.*

*Отрицательная частотно-зависимая обратная связь в эмиттерной цепи транзистора VT1 (КТ610) влияет на коэффициент усиления на частоте 22–24 МГц. Ток покая каскада 30–35 мА.*

# МНОГОКАСКАДНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

## Особенности многокаскадных усилителей

На рис. 13.11 мы уже познакомились с многокаскадным усилителем, охваченным общей петлей отрицательной обратной связи. Один каскад на транзисторе позволяет вводить частотно-независимую отрицательную обратную связь любой глубины. Пример тому — каскад с общим коллектором, где глубина обратной связи 100%, но каскад прекрасно работает, не испытывая проблем. В многокаскадном усилителе приходится задумываться о правильном введении обратной связи.

Понятно, что в однокаскадном усилителе для схемы с общим эмиттером фазы входного и выходного напряжения сдвинуты на 180 градусов. Для двух каскадов сдвиг фаз получается 360 градусов. При соединении выхода второго каскада с первым мы получим, скорее всего, не усилитель, а генератор. Правда, если добавить выходной сигнал «чуть-чуть», то можно увеличить усиление. Так поступали, например, в регенеративных схемах радиоприемников прямого усиления. Но работа получается неустойчивой, приемник склонен к самовозбуждению.

**Радиолобитель:** *Почему не взять три каскада, когда добавится сдвиг еще на 180 градусов?*

Не все так просто с **трехкаскадным усилителем**. Мы говорили о противофазном сигнале на выходе до верхней частоты среза. А каждый каскад многокаскадного усилителя имеет свою верхнюю граничную частоту. На этой частоте происходит сдвиг фазы на 45 градусов. Таким образом, противофазный сигнал перестает быть противофазным. При введении обратной связи есть вероятность потери устойчивости усилителя. Как поступить в этом случае разберем на простом примере.

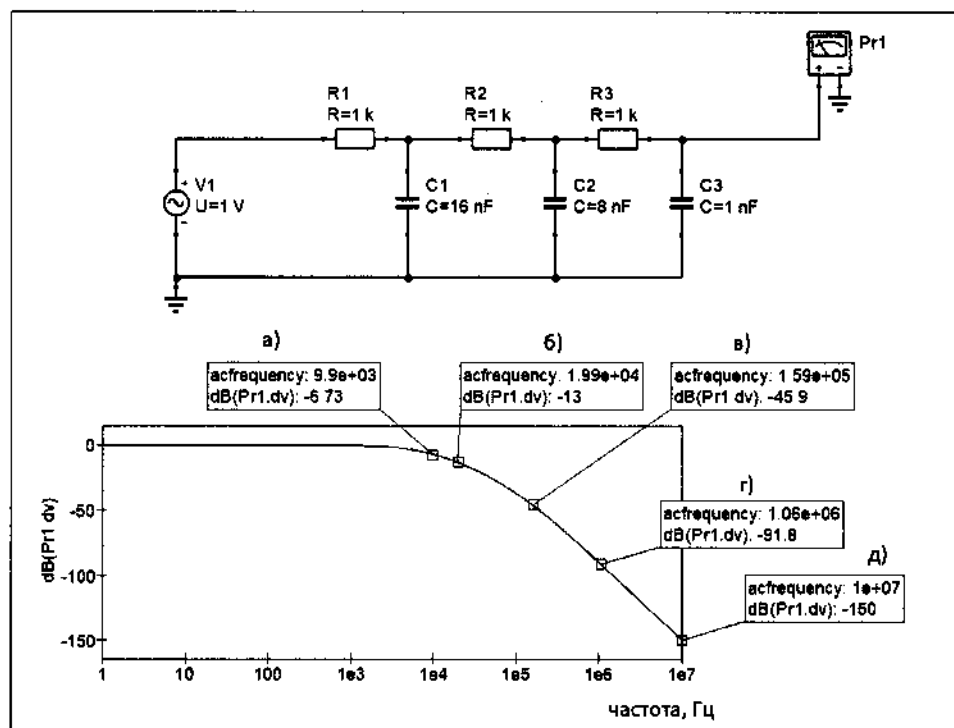


Рис. 14.1. Имитация трехкаскадного усилителя RC-цепочками

Для простоты рассуждений представим каждый каскад усиления интегрирующей RC-цепью, которая ведет себя в отношении общей АЧХ подобно трехкаскадному усилителю (рис. 14.1).

После частоты среза спад АЧХ идет со скоростью 20дБ/на декаду. При наличии других частот среза скорость спада АЧХ каждый раз увеличивается на 20 дБ/дек. Рассмотрим нашу модель:

- первая частота среза — 9,9 кГц (а);
- вторая частота среза — 19,9 кГц (б);
- третья частота среза — 159 кГц (в).

После третьей частоты среза проверим скорость спада частоты: на частоте 1 МГц спад около 90 дБ, а через декаду, на частоте 10 МГц, спад 150 дБ. То есть, после третьей частоты среза спад частотной характеристики происходит со скоростью 60 дБ на декаду.

Если после введения обратной связи результирующая АЧХ попадет на участок 20 дБ/дек, мы можем не беспокоиться об устойчивости. Если результирующая АЧХ попадет на участок 60 дБ/дек, усилитель будет возбуждаться. На участке в 40 дБ/дек следует проверять устойчивость усилителя, он должен иметь запас по усилению и по фазе.

Студопедия приводит графики, поясняющие эти запасы (рис. 14.2).

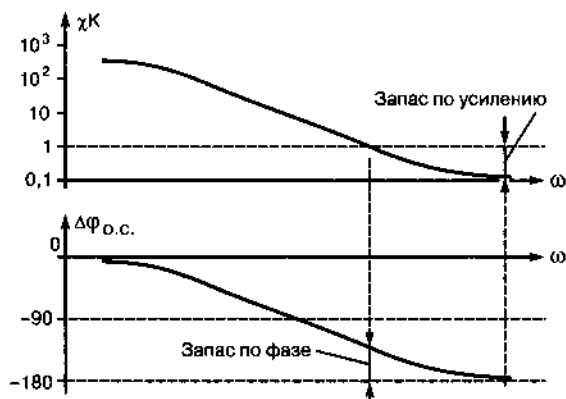


Рис. 14.2. Графики определения запасов устойчивости

Здесь:

$$U_{ос} = \chi K U_1 \text{ и } U_1 < U_{вх}.$$

Когда  $\chi K$  достигает значения 1 желательно иметь запас по фазе не менее  $60^\circ$ . А на частоте, где фазовый сдвиг  $180^\circ$ , желательно иметь запас по усилению — петлевое усиление должно быть меньше единицы, например, 0,7.

### Метод Роллета определения устойчивости усилителя

Программа QucsStudio предлагает другой способ определения устойчивости усилителя с петлей обратной связи. Преобразуем несколько усилитель на рис. 13.11, с оригинальной схемой моделирование не получается. Определим АЧХ усилителя (рис. 14.3).

Верхняя граничная частота (по спаду на 3 дБ) простирается едва не до 1 МГц. Выходные транзисторы я намерено взял самые распространенные. При определении устойчивости усилителя можно использовать критерий Найквиста, но программа предлагает другой критерий, Роллета. Для получения S-параметров заменим входной генератор V2 и громкоговоритель портами для получения нужных параметров (рис. 14.4). А в диаграмме Декартовых координат, в свойствах, зададим rollet(). Мы получим график, по которому можно определить устойчивость усилителя.

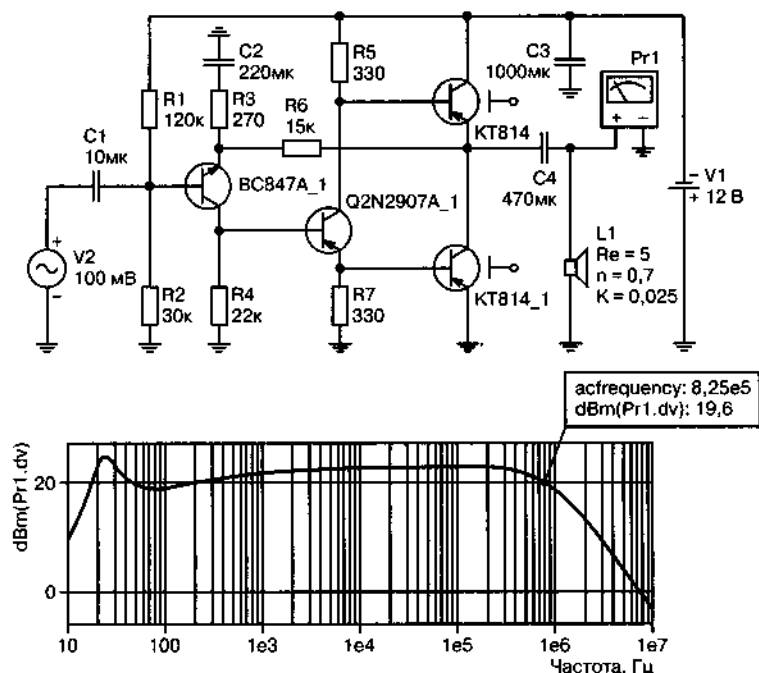
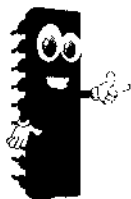


Рис. 14.3. Усилитель мощности звуковой частоты и его амплитудно-частотная характеристика



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Существуют разные критерии устойчивости усилителей с обратной связью. Например: критерий устойчивости Найквиста-Михайлова – один из способов судить об устойчивости замкнутой системы управления по амплитудно-фазовой частотной характеристике ее разомкнутого состояния. Является одним из частотных критериев устойчивости. С помощью этого критерия оценить устойчивость весьма просто, без необходимости вычисления полюсов передаточной функции замкнутой системы.

Усилитель теряет устойчивость, когда график проходит ниже единицы. На рис.14.4 показана частота 300 кГц. Но нам не нужна такая частота в усилителе звука. Введем коррекцию АЧХ с помощью конденсатора C5 (рис. 14.5). Повторим симуляцию S-параметров (раздел simulations), задав частотный диапазон (я выбрал 1 Гц...5 МГц). По окончании симуляции на страницу результатов добавим диаграмму

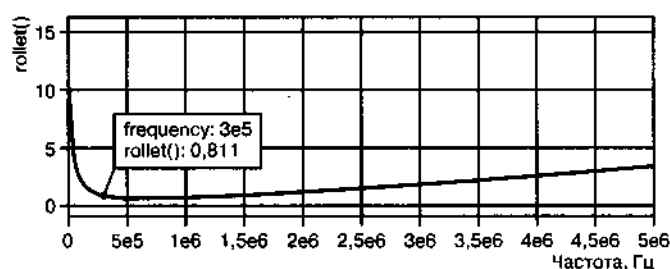
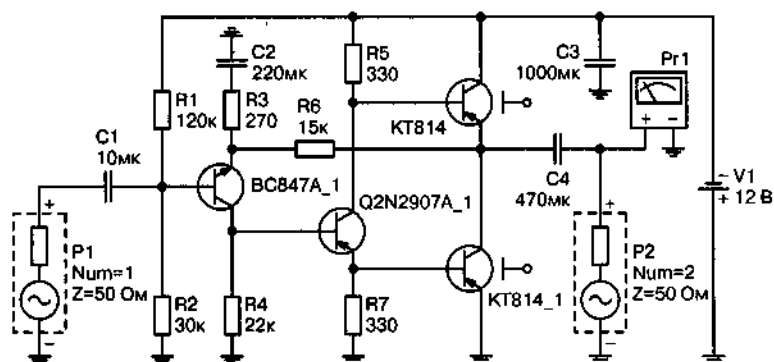


Рис. 14.4. Определение устойчивости усилителя по критерию Роллета

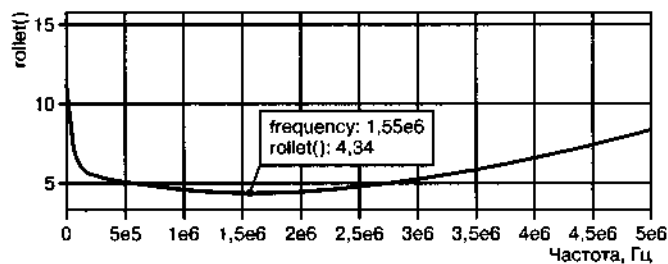
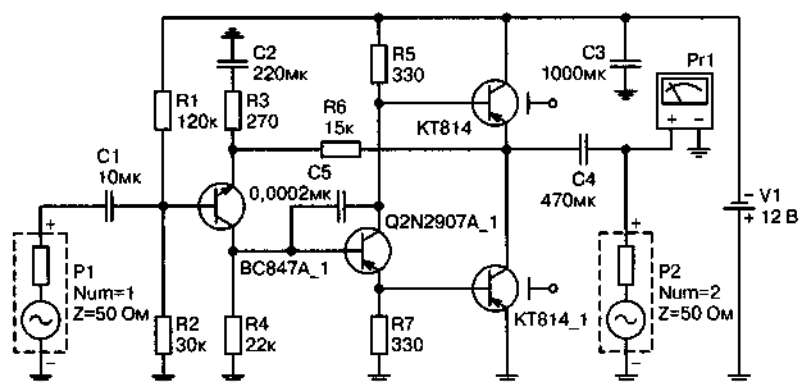


Рис. 14.5. Коррекция частотной характеристики усилителя

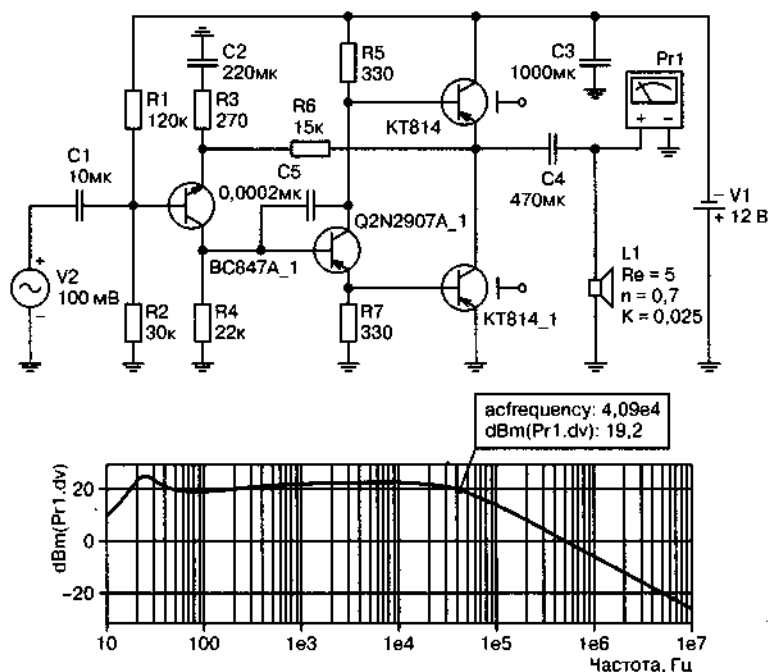


Рис. 14.6. Амплитудно-частотная характеристика после коррекции

Cartesian. В окошко Graph Properties впишем `rollet()` и нажмем кнопку Apply. Все, мы получили нужный график.

Теперь в самой нижней части графика он располагается выше единицы.

**Радиолюбитель:** А что с амплитудно-частотной характеристикой?

Повторим симуляцию на переменном напряжении (рис. 14.6).



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Верхняя рабочая частота снизилась до 40 кГц, что более чем достаточно.

В усилителях высокой частоты, как правило, стараются обойтись локальной отрицательной обратной связью, как это сделано в схеме на рис. 13.12, резистор в цепи эмиттера. Параметры усилителя улучшаются, а проблем с устойчивостью меньше. В усилителях ВЧ, а особенно СВЧ, и без общей обратной связи могут появиться паразитные обратные связи. Поэтому использование критерия Роллета очень удобно.

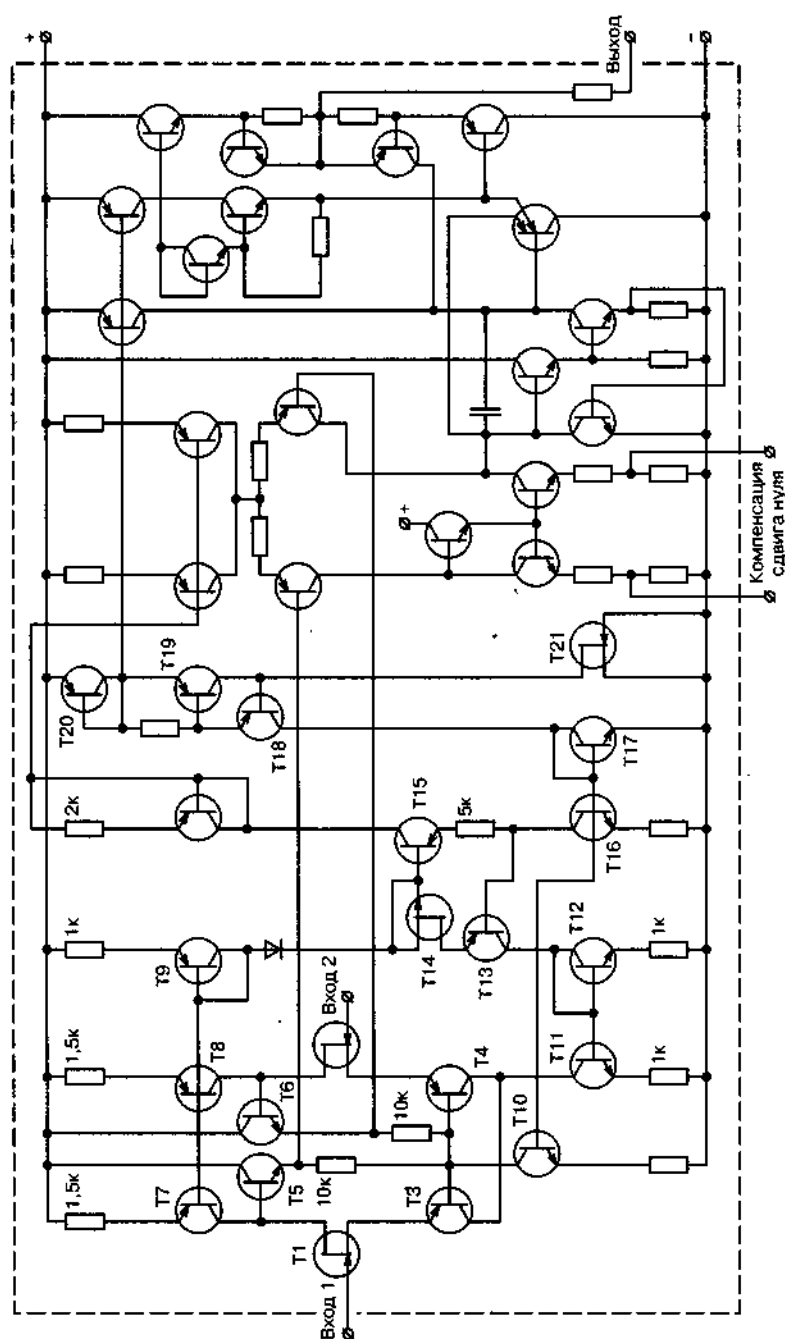


Рис. 14.7. Электрическая схема операционного усилителя

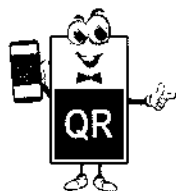


Операционные усилители, как правило, имеют несколько каскадов усиления. При этом подразумевается, что они должны сохранять устойчивость и при 100% отрицательной обратной связи. Вот пример электрической схемы операционного усилителя (рис. 14.7).

**Радиолюбитель:** Как достигается устойчивость операционного усилителя?

Достигается это... Впрочем, проведем моделирование популярного усилителя LM358 с целью получить его АЧХ без обратной связи (рис. 14.8).

Спад частотной характеристики с нижних частот до усиления в ноль децибел составляет 20 дБ/дек ( $29 - 9 = 20$ , на рис. 14.8).



Прочитать больше про обратную связь вы можете в Интернете. Здесь и виды обратной связи, и влияние обратной связи на параметры усилителя, включая устойчивость работы.

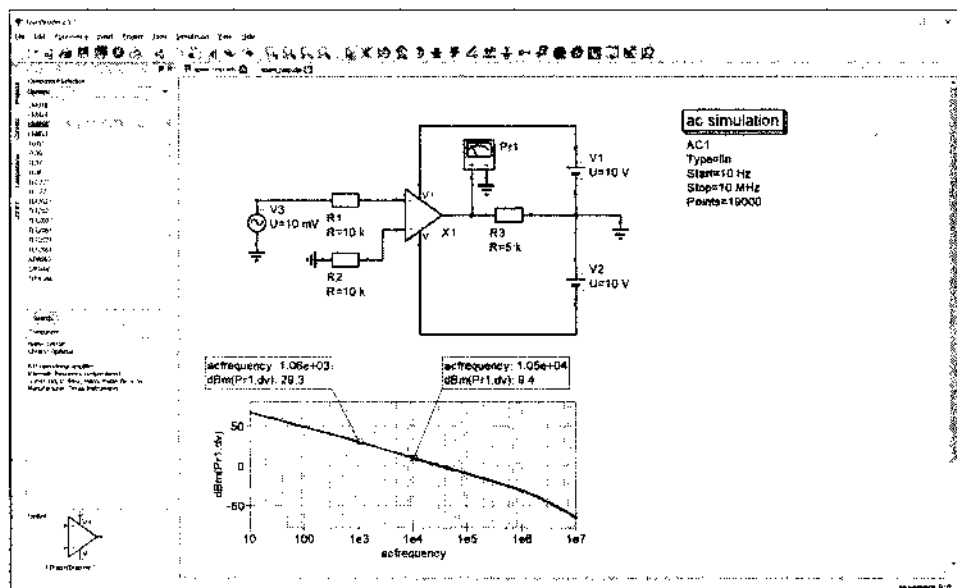
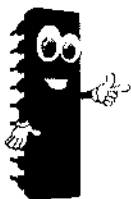


Рис. 14.8. Амплитудно-частотная характеристика операционного усилителя

## Усилители мощности звуковой частоты

Радиолюбителей-коротковолновиков в практическом плане мало интересуют усилители мощности звуковой частоты. Но знать о них полезно и им.

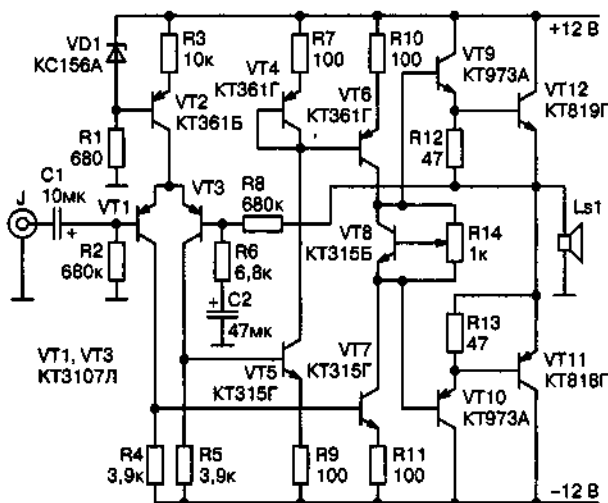
Первые транзисторные усилители отличались специфическим «транзисторным» звучанием. Чтобы обойти проблему получения хороших параметров при неглубокой обратной связи, усилители стали строить на комплементарных парах транзисторов. Получалась симметричная схема относительно питающих напряжений, что позволяло получить достаточно хорошие параметры усилителя [11].



**ПРИМЕЧАНИЕ.**

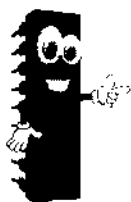
Отрицательная обратная связь улучшала эти параметры, но оставаясь неглубокой, устраняла ряд отрицательных явлений, вызывающих дополнительные искажения звука (рис. 14.9).

Построение входного усилителя похожим образом, как это сделано в операционных усилителях, упрощает введение обратной связи. Транзистор VT2 обеспечивает токовую нагрузку как источник стабильного тока.



**Рис. 14.9.** Усилитель мощности звуковой частоты на комплементарных парах транзисторов

Для улучшения параметров в схеме используется «токовое зеркало» (как в операционных усилителях).



### СПРАВКА.

*Токовое зеркало — элемент транзисторной схемотехники, представляющий собой генератор тока, управляемый входным током, в котором входной и выходной токи имеют разное направление и один общий вывод источника питания, причем соотношение токов (коэффициент отражения) сохраняется постоянным в широком диапазоне и мало зависит от напряжения и температуры.*

Википедия

Транзисторы VT9 и VT12, VT10 и VT11 — это составные транзисторы, а транзистор VT8 позволяет задать выбранный ток покоя. Питание схемы двухполярное. А почитать про схему лучше в оригинале.

## Усилители мощности звуковой частоты в D-режиме

В последнее время появилась тенденция к созданию микросхем, работающих в режиме D. Они имеют очень неплохие внешние параметры. Так микросхема MP7722 имеет:

- ♦ пиковая мощность 20 Вт;
- ♦ коэффициент нелинейных искажений (при  $R_{\text{вых}} = 1 \text{ Вт}$ ) составляет 0,04%;
- ♦ КПД = 90%.

В чем суть работы усилителя в режиме D, рассмотрим в программе моделирования (рис. 14.10).

На входы компаратора OP1 (будем считать, что это компаратор) приходит исходный звуковой сигнал от генератора V2 и сигнал от вспомогательного генератора треугольного напряжения (диаграмма г). Компаратор срабатывает, когда сигнал от генератора треугольного напряжения пересекает исходный сигнал, формируя широтно-импульсное модулированное напряжение на выходе компаратора (диаграмма д). На диаграмме а показаны оба сигнала, входной и вспомогательный.

Модуляция входного сигнала похожа на частотную модуляцию, но на выходе формируются прямоугольные импульсы (диаграммы б и д). Этими импульсами управляются выходные транзисторы. Итог — мощ-

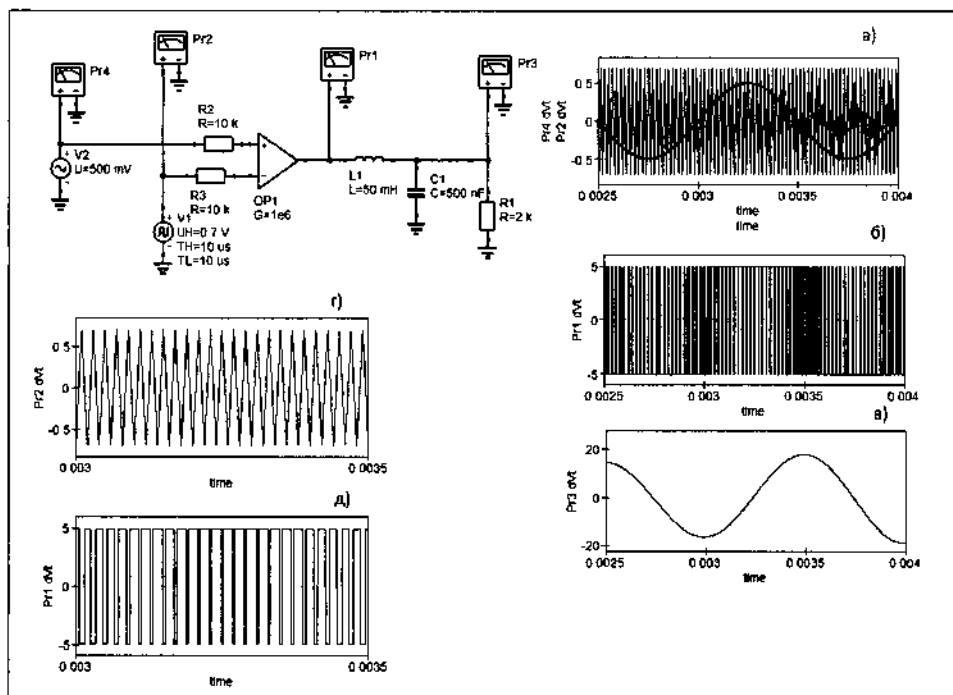
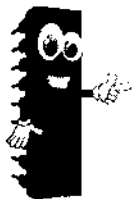


Рис. 14.10. Работа в режиме D

ность, рассеиваемая выходными транзисторами, гораздо меньше, чем в любых других режимах работы УМЗЧ.

Для восстановления исходного сигнала на громкоговорителе используется простой LC фильтр. На **диаграмме в** показан восстановленный сигнал, который можно сравнить с исходным на **диаграмме а**.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

При моделировании частота генератора вспомогательного треугольного напряжения выбрана такой, чтобы получились наглядные диаграммы, в реальной практике эта частота может достигать сотен мегагерц.

Идея использования такого режима работы более полувека, а возникла она у нашего соотечественника.

## Усилители мощности для любительской связи

В усилителях мощности высокой частоты сегодня успешно используют транзисторы. Вот схема выходного каскада (рис. 14.11), выполненная на полевом транзисторе [5].

Выходная мощность такого усилителя может достигать 20—30 Вт, поэтому ток покоя транзистора составляет 150—300 мА. Для защиты выходного транзистора используют схему на мостовом выпрямителе VD4—VD7 и стабилитроне VD3. Нагрузкой транзистора служит трансформатор T1.

Фильтр C7—C10, L10 служит для развязки по питанию. Напряжение на стоке транзистора VT1 ограничено напряжением стабилитрона VD10 (около 70 В). Обусловлено это достаточно большим напряжением питания, 38 В, и индуктивной нагрузкой транзистора.

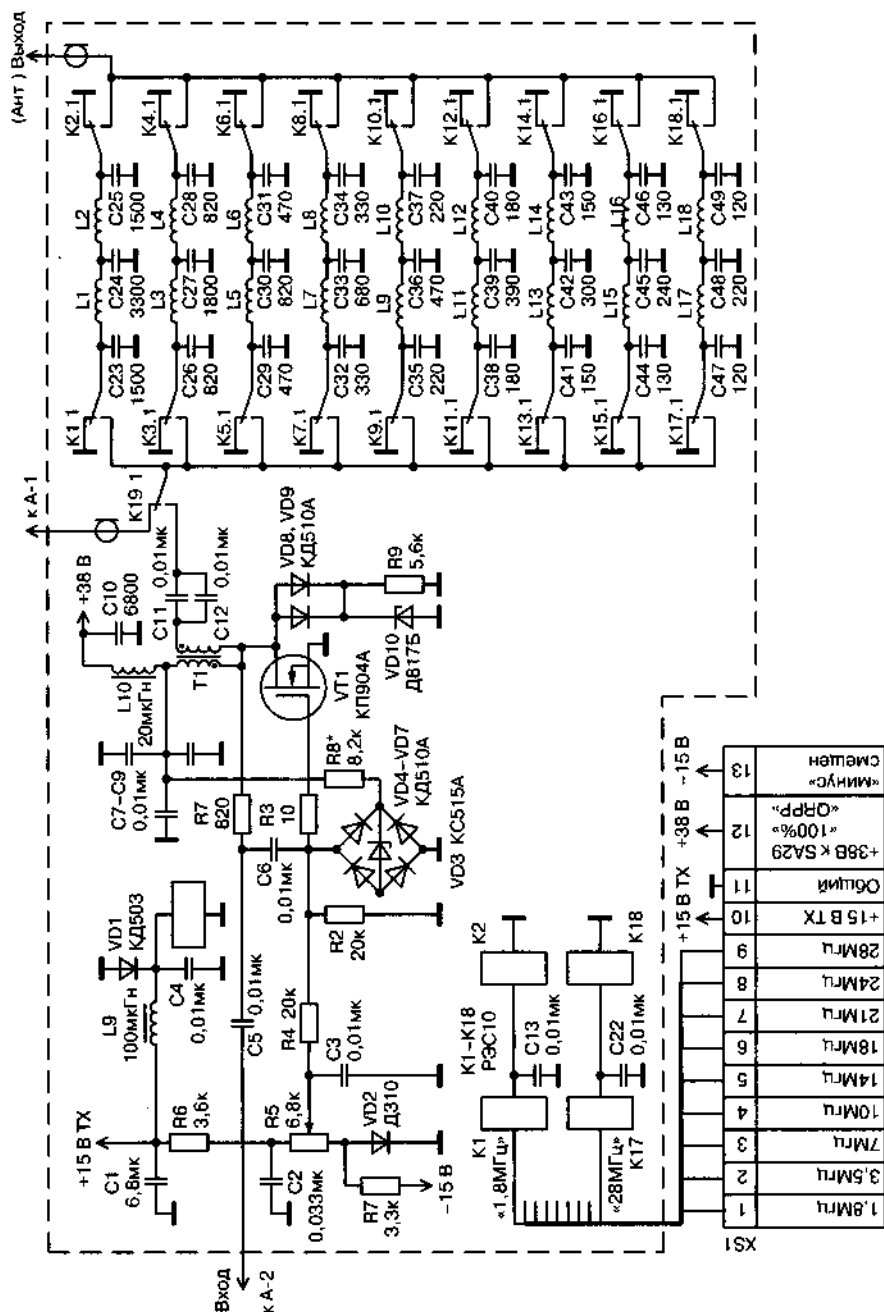
Чтобы уменьшить емкость цепи защиты для переменного напряжения, использованы диоды VD8, VD9. Емкость этих диодов мала, чем блокируется большая емкость стабилитрона. Антенна подключается к усилителю мощности через фильтры.

Для каждого поддиапазона используется свой фильтр низкой частоты. **Обратите внимание — это фильтры Чебышева пятого порядка.**

В любительской связи применяют и усилители мощности высокой частоты, выполненные на биполярных транзисторах, по схеме очень похожей на усилители мощности звуковой частоты (рис. 14.12).

Схема больше напоминает первые транзисторные усилители мощности, выполненные с помощью согласующего и выходного трансформаторов.

К интересным особенностям схемы можно отнести каскад на транзисторах V4 и V5. Вот, что пишет автор статьи: *«На транзисторах V4 и V5 собрано устройство, позволяющее получить «плавающий», т. е. зависящий от уровня подводимых сигналов, ток смещения. Устройство представляет собой двухтактный усилитель постоянного тока, охваченный стопроцентной отрицательной обратной связью. В результате действия такой обратной связи выходное динамическое сопротивление получается очень малым, что обеспечивает нужные изменения мгновенных значений токов баз при самых незначительных изменениях потенциалов. Начальный ток устанавливают резистором R9».*



**Рис. 14.11.** Схема усилителя мощности высокой частоты

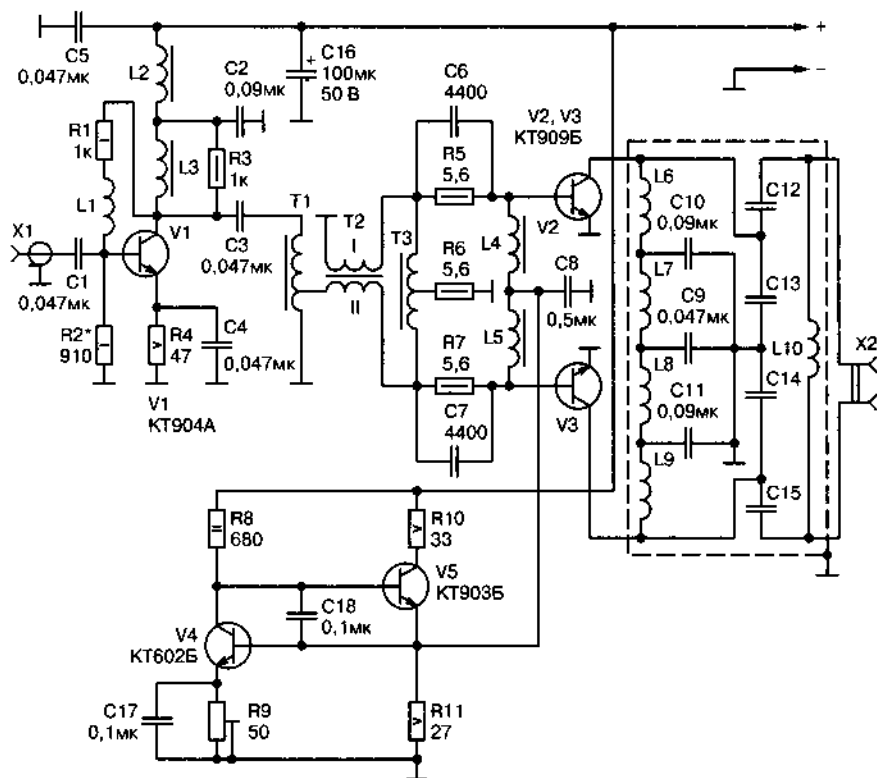


Рис. 14.12. Усилитель мощности ВЧ на биполярных транзисторах



Если вас заинтересовала схема на биполярных транзисторах, вы можете больше узнать о ней из оригинальной статьи.



## Преобразователи напряжения

Оставив в стороне вопрос о трансформаторах, поговорим о преобразователях постоянного напряжения в постоянное напряжение (DC/DC-преобразователи). Насколько я знаю, вначале были вибропреобразователи (рис. 14.13).

Поскольку схема не желает моделироваться с батареей, ее пришлось заменить генератором ступенчатого напряжения. После появле-

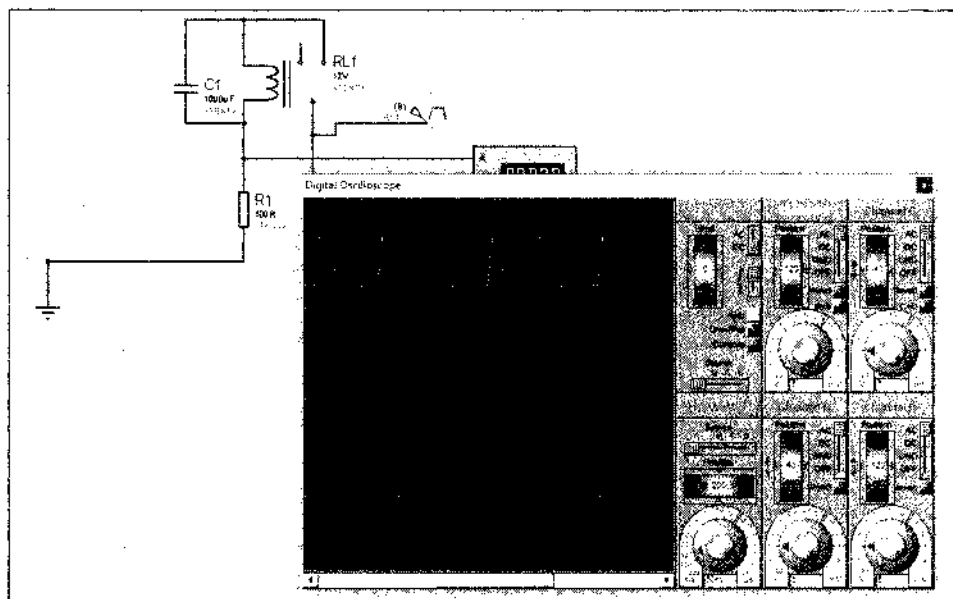


Рис. 14.13. Вибропреобразователь из реле

ния постоянного напряжения, подключаемого через нормально замкнутые контакты реле  $RL1$ , начинает заряжаться конденсатор  $C1$ . При достижении напряжения на конденсаторе величины, при которой реле включается, контакты размыкаются, отключая постоянное напряжение.

Но реле остается включенным до тех пор, пока не разрядится конденсатор. В итоге, на выходе преобразователя мы получаем переменное напряжение, о чем свидетельствует верхний луч осциллографа. Следующий луч показывает, что напряжение на выходе генератора «ступеньки» постоянное.

Реальные вибропреобразователи были устроены несколько иначе, но суть их работы не выходит за рамки показанного моделирования.

С появлением транзисторов популярной у радиолюбителей становится схема преобразователя напряжения автомобильного аккумулятора в напряжение для электробритвы. Схема (рис. 14.14), на мой взгляд, сложнее [11] тех, что были раньше, но похожа, и я не уверен, что она не применяется и по сей день.

Современные преобразователи напряжения строят на современной элементной базе, а выпускают в виде микросхем. В основе работы этих полезных приборов лежит реакция индуктивности на изменение напряжения, вызванного работой транзисторного ключа. Для многих прикладных задач используют повышающие преобразователи постоянного напряжения. Но небольшие изменения в схеме превратят повышающий преобразователь в понижающий.





# ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

## Автоматическая регулировка усиления

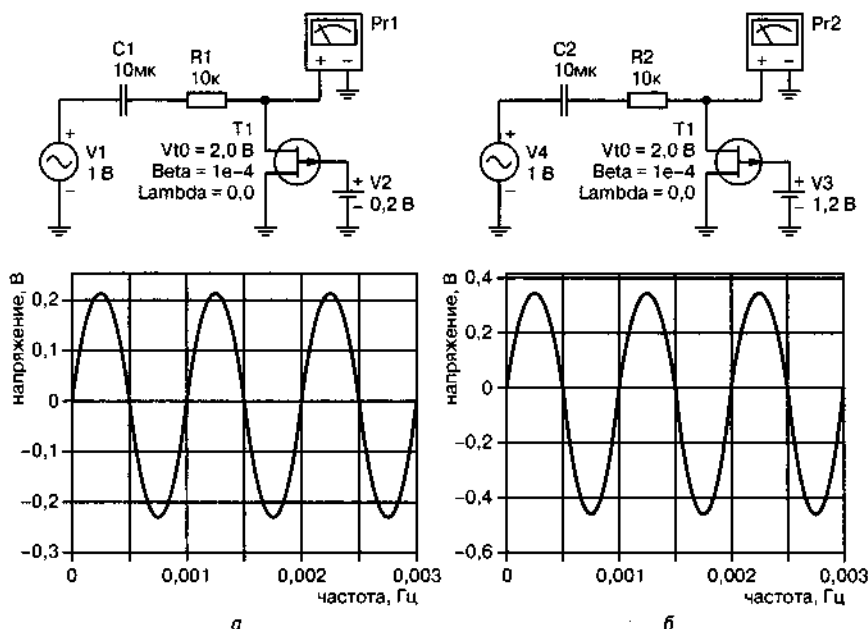
Автоматика щедро делится со всеми своими наработками. Не обходит она стороной и радиолюбителей. В **главе 13** приводилась схема селектора телевизионных каналов, в котором используется автоматическая регулировка усиления. Но автоматическую регулировку усиления есть смысл использовать, например, и в усилителе сигнала с микрофона. Такая регулировка уменьшит искажения при перепадах громкости, когда плохая связь с абонентом заставляет, не задумываясь, повышать голос.

Для целей такой регулировки удобно использовать полевой транзистор. Его канал меняет сопротивление при изменении напряжения на затворе (**рис. 15.1**).

Полевой транзистор образует делитель напряжения с резистором  $R_1$  ( $R_2$  — на **рис. 15.1, б**). При изменении напряжения на затворе меняется сопротивление канала транзистора, что меняет напряжение сигнала на выходе делителя. При использовании динамического микрофона первый каскад усиления едва ли будет перегружаться. Поэтому делитель следует применить в следующем каскаде.

Чтобы сформировать напряжение для затвора полевого транзистора, используют выпрямитель сигнала, подключенный ко второму или следующим каскадам предварительного усиления. Здесь, как и для выпрямителя питающего напряжения, применим RC-фильтр. Но, если для питающего напряжения важно только приближение выпрямленного напряжения к постоянному, то в случае АРУ важно и другое.

Положим, речь вернулась к нормальной громкости, и напряжение должно следовать этому. Но при резком изменении громкости напряжение должно достаточно быстро нарастать во избежание искажений.



**Рис. 15.1.** Изменение сопротивления канала полевого транзистора:  
 а – напряжение на затворе 0,2 В; б – напряжение на затворе 1,2 В

Рассмотрим работу схемы с автоматической регулировкой усиления, собрав подходящий усилитель на базе операционного усилителя, где регулируемому элементу самое место в цепи отрицательной обратной связи (рис. 15.2).

Напряжение на входе в случае «а» равно 150 мВ. В случае «б» оно увеличивается в два раза. Но напряжение на выходе меняется не в два раза. Мы получили автоматическую регулировку усиления. Но проверить схему на реакцию резкого изменения громкости...

Собрав схему на макетной плате, подключив микрофон, мы, в лучшем случае, можем это определить на слух. Ухо — это чувствительный инструмент, но плохо откалиброванный, увы. Добавим к этому и то, что речь имеет достаточно сложный характер. То есть, сигнал будет очень сложным.

Нам должна помочь в этом программа моделирования. Соберем вспомогательную схему, которая поможет резко менять уровень входного сигнала (рис. 15.3).

На диаграмме видно, как меняется сигнал, реагируя на изменение входного напряжения. После проверки «на слух» и моделирования можно окончательно определиться с параметрами, модифицируя схему при необходимости.

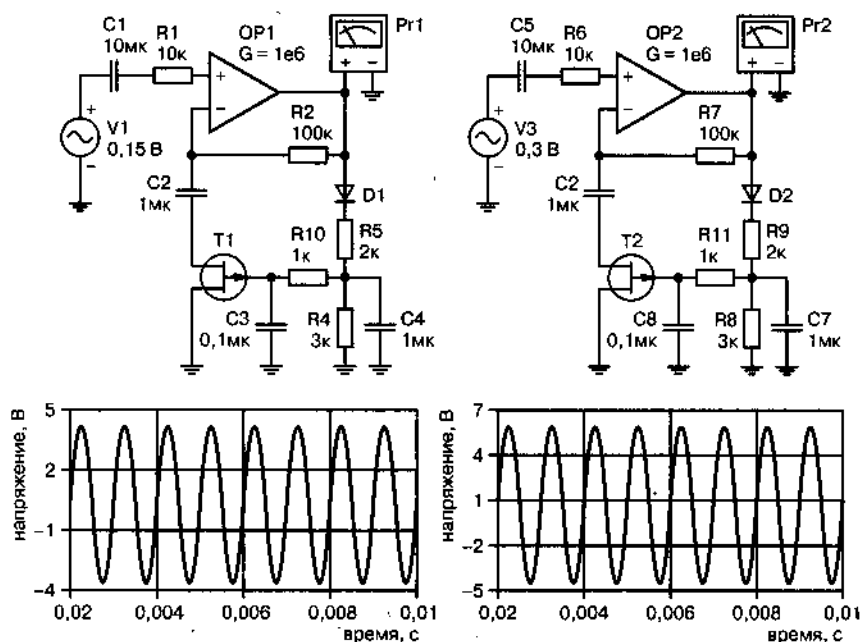


Рис. 15.2. Простейший пример работы АРУ

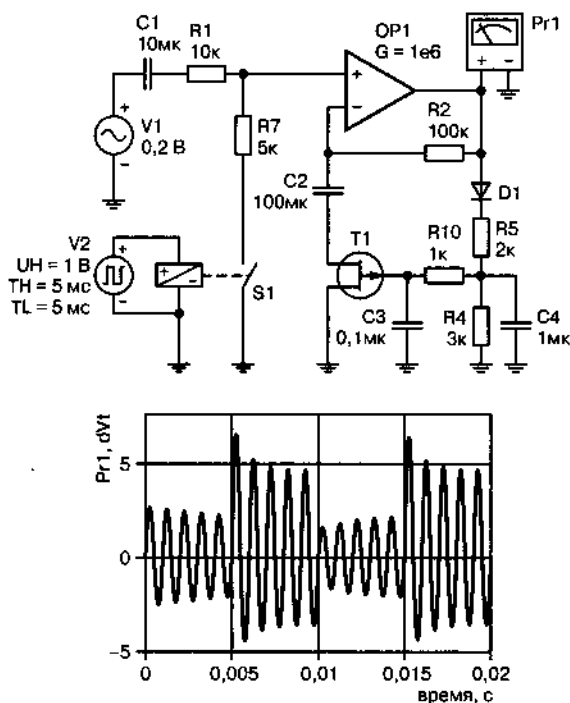


Рис. 15.3. Проверка схемы на резкое изменение входного сигнала

## Автоматическая регулировка температуры

Автоматика в радиолюбительской связи, думаю, применяется не так часто. Однако усилитель мощности имеет свойство греться. Чтобы помочь ему с охлаждением, можно применить вентилятор. Но постоянно работающий вентилятор — это лишний шум. Можно собрать отдельный модуль, где работа вентилятора будет зависеть от температуры внутри корпуса передатчика, а вентилятор будет включаться только при необходимости.

Для такого дополнительного модуля можно придумать и предложить разные схемы. Начнем с весьма любопытной схемы [10]. Интерес вызывает использование микросхемы TL431, регулируемого стабилизатора. Вот, что о нем пишет автор книги: «Логика работы стабилизатора такова: когда на управляющем электроде напряжение превышает 2,5 В (задается внутренним опорным напряжением) стабилизатор, по сути дела являющийся микросхемой, открыт. В этом состоянии через него и нагрузку протекает ток. Если же это напряжение становится чуть меньше указанного порога, стабилизатор закрывается и отключает нагрузку».

Схема терморегулятора крайне проста (рис. 15.4).

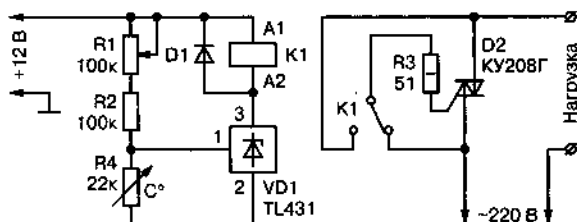


Рис. 15.4. Схема терморегулятора

Датчик температуры R4 — это терморезистор КМТ, ММТ или СТ1. Реле РЭС-55А с рабочим напряжением 10—12 В. Можно подобрать вентилятор на 12 В с рабочим током меньше 100 мА. При этом схема упростится: вместо триака контакты реле будут подключать вентилятор к питающему напряжению 12 В.

Логика работы схемы меняется. У терморезистора отрицательный ТКЕ, то есть, сопротивление резистора уменьшается при нагревании, что приводит к выключению микросхемы TL431 и, как следствие, выключению реле. Но вентилятор, подключенный к нормально замкнутым контактам реле, в этом случае включается.



*Вы можете прочитать подробнее о микросхеме TL431.*

*Там же приведено несколько простых, но полезных схем, использующих эту микросхему.*



**Радиолюбитель:** *Достаточно ли использовать такую простую схему для передатчика?*

На этот вопрос может ответить только хороший специалист по теплотехнике. С одной стороны, температура не меняется очень быстро, это так. Но без гистерезиса схема может постоянно «дребезжать» в районе заданной температуры. К этому добавляется неопределенность с температурой без вентиляции и температурой при работе вентилятора. Исходная схема, видимо, подразумевала обогрев помещения, где инерция очень велика. Применение схемы для выбранной цели под вопросом.



#### СОВЕТ.

*Решить этот вопрос рекомендую радикально – применить микроконтроллер. Модель лучше взять со встроенным аналого-цифровым преобразователем.*

Такой микроконтроллер можно подключить к делителю напряжения R1R2R4. К выходу подключить транзистор, в коллекторную цепь которого включен вентилятор. Микроконтроллер позволит организовать любой гистерезис – разнести температуру включения и выключения – позволит добавить любые паузы в работе модуля охлаждения. Как это выглядит на практике, мы рассмотрим в главе 16.

## Антенна радиолюбителя-коротковолновика

Если радиолюбителей, которым нравится собирать вещательные радиоприемники, больше интересует наличие ферритовых стержней для магнитной антенны, то любителям-связистам приходится использовать наружные антенны, если такая возможность есть.

Для наружной антенны важна направленность. Поэтому часто их делают вращающимися. Но связь антенны с приемником осуществляется кабелем. Очень желательно ограничивать поворот антенны, используя, например, концевые датчики. А выбор направления хорошо организовать с помощью автоматической настройки на максимальный сигнал.

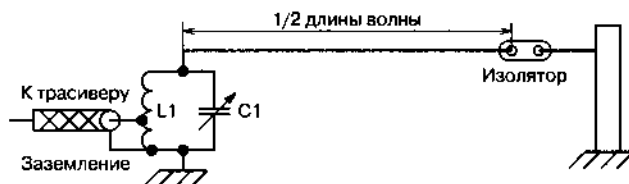


Рис. 15.5. Антенна типа LW (длинный провод)

Посмотрим, какие антенны применяют радиолюбители-связисты [6]. Самая понятная конструкция антенны (рис. 15.5) имеет существенные недостатки.

Длина такой антенны в 75, 41 или 21 метр подразумевает, что сосед у вас на даче такой же радиолюбитель, что и вы. Тогда протянуть антенну можно между домами. Но есть проблема с направленностью, а идея, что Земля сама крутится, годится только для связи с инопланетянами. Дополнительная трудность возникнет при решении вопроса, где быть радиостанции. Словом...

Не обязательно радиолюбителю работать в диапазоне 160, 80 или 40 метров (что и определяет длину антенны). Есть другие прекрасные диапазоны для любительской связи, например, «Си-Кю тен». И антенна для этого диапазона наверняка впишется в размер вашего дачного участка (рис. 15.6).

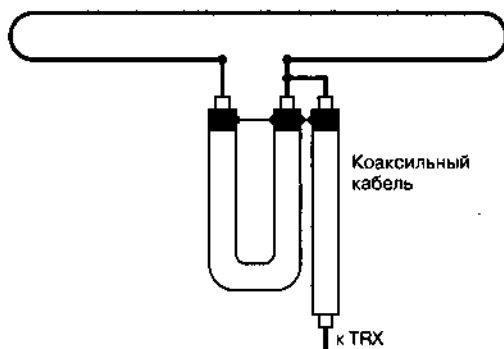


Рис. 15.6. Полуволновой петлевой вибратор

Длина петли всего метра три (и опустится она метра на полтора), изготавливается она из того же кабеля, что спуск к радиостанции; вполне подойдет коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом.

Но, если вы горожанин, живущий в многоэтажной башне, то лучше перейти на диапазон УКВ (2 метра, 144–146 МГц, и 70 сантиметров, 430–440 МГц). Антенна типа «волновой канал» (рис. 15.7) может поместиться на балконе. Да, «половину мира» скроют от вас стены дома, зато

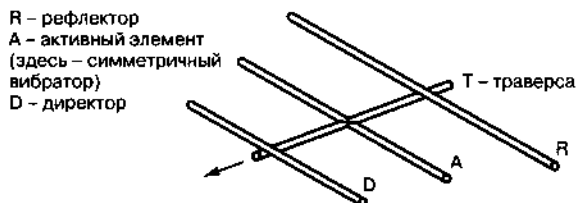


Рис. 15.7. Антенна волновой канал (из материала Википедии)

вторая половина в вашем распоряжении (на расстоянии 30–50 км, если повезет). По крайней мере, с приемлем в соседней башне вы точно свяжетесь.

Длина активного вибратора составляет половину длины волны, 1 м для диапазона 144–146 МГц, рефлектор чуть длиннее, а директор – короче. Расстояние между элементами около четверти волны, то есть, около 50 см. Вполне компактная антенна.

Мощность передатчика последней категории на этом диапазоне не должна превышать 5 Вт, что существенно облегчает создание усилителя мощности. И, что очень огорчает, работа любительских радиостанций в

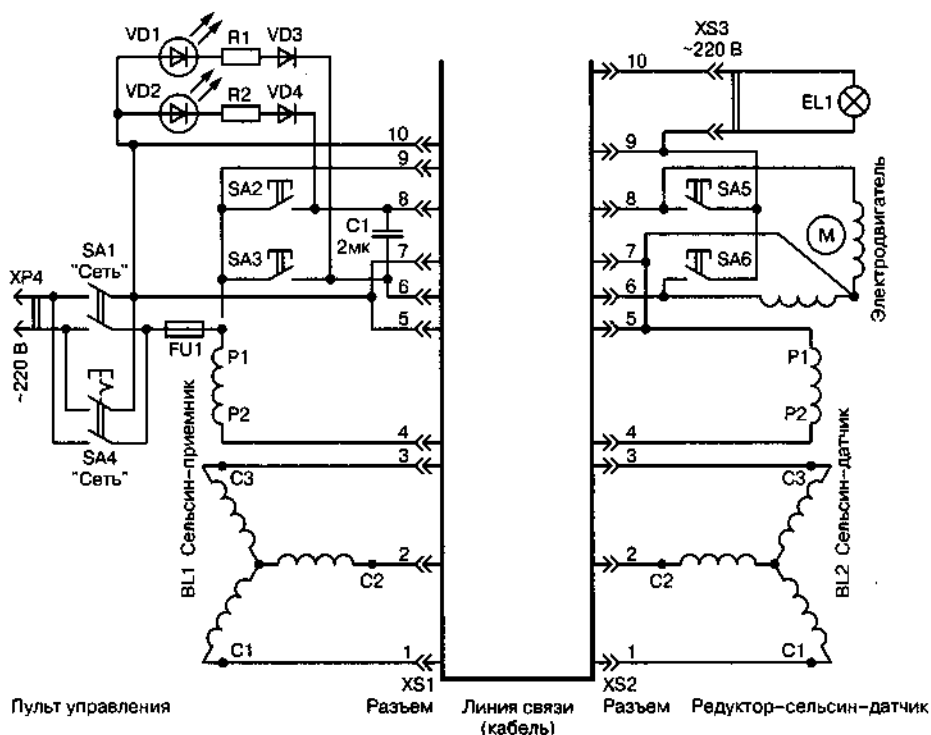


Рис. 15.8. Схема устройства поворота антенны



полосе частот 430—433 МГц в зоне радиусом 350 км от центра Москвы запрещена. А такая получалась компактная антенна!

Радиолюбители-коротковолновики давно применяли устройства для вращения антенны [5, 6]. Но это требует не только знаний, но и умения многое делать своими руками кроме пайки (рис. 15.8).

Спаять схему, как вы понимаете, не сложно. Собрать всю конструкцию будет сложнее. А как хорошо было бы экспериментировать с антенной для диапазона 70 см! Легко найти и подходящий двигатель постоянного тока или даже шаговый двигатель, легко найти датчик угла поворота антенны, а объединил бы их микроконтроллер!

# РАБОТА С МИКРОКОНТРОЛЛЕРАМИ

## Среды разработки для микроконтроллерных программ

**Микроконтроллер** — это особенный элемент обычной электрической схемы. Микросхему, купленную в магазине, недостаточно правильно впаять в плату. Нужно хотя бы добавить гребенку для внутрисхемного программирования, поскольку микроконтроллер нужно программировать.

Для этого используются среды разработки программ, например, MPLAB X для программирования PIC моделей, AtmelStudio для AVR-контроллеров, Arduino для работы с модулями Arduino и AVR-контроллерами. Более современные контроллеры как STM32 требуют еще большей подготовки.

Наиболее наглядными для начинающих я считаю среды разработки с графическим языком программирования. Вот простейшая программа в среде Flowcode (рис. 16.1).

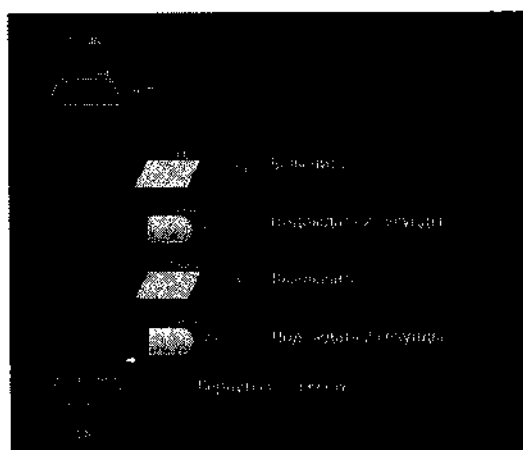


Рис. 16.1. Программа «HelloWorld» в среде Flowcode

Программа включает и выключает один из выводов микроконтроллера, к которому можно подключить светодиод, получив «мигалку».

С одной стороны, эта запись программы напоминает алгоритм работы микроконтроллера, с другой стороны, она больше отвечает нашему представлению о том, что мы хотим от этой работы.

Конечно, для простой программы и запись на языке высокого уровня, например, Си не выглядит устрашающе. Вот та же программа в среде разработки от производителя PIC-контроллеров MPLAB X:

```
#include <xc.h>
#define _XTAL_FREQ 4000000
void main(void) {
    TRISA = 0xFE;
    while(1) {
        RA0 = 1;
        __delay_ms(2000);
        RA0 = 0;
        __delay_ms(2000);
    }
}
```

Это, положим, не вся программа, но, согласитесь, она менее наглядна.

В обеих средах разработки следует указать настройки микроконтроллера, которые записываются в слова конфигурации. От них зависит, например, будет ли подключаться внешний кварцевый резонатор для стабилизации тактовой частоты (и формирования сигнала) или будет использован внутренний генератор. От тактовой частоты зависит длительность пауз в первую очередь. И при выборе внешнего кварца без него микроконтроллер не будет работать.

## || Отлов жуков в программе

Очень важной частью любой среды разработки является отладчик (debugger). Даже самую простую программу следует проверить на правильность работы. И желательно сделать это до перехода к макетированию устройства.

Чтобы не быть голословным, посмотрим, как выглядит разработка программы в разных средах разработки. В качестве примера возьмем терморегулятор из главы 15. Из схемы нам потребуется делитель напряжения из обычного резистора и терморезистора. У микроконтроллера мы используем встроенный модуль АЦП (аналого-цифровой преобразователь). Перед началом работы проверим, можем ли мы получить что-то похожее на реальность.

Выберем температурный режим: нормальная температура в корпусе передатчика 40 градусов; при охлаждении вентилятором она снижается до 35 градусов; допустимый перегрев составляет 45 градусов.

Посмотрим справочные данные для терморезистора типа ММТ1, нас интересует температурный коэффициент:  $TKC = 4\%/^{\circ}C$  (некое среднее значение).

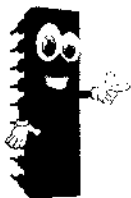
Посмотрим, как изменяется сопротивление датчика температуры в заданном диапазоне 35...45 градусов. Сопротивление меняется на 40%. Не будем пока обращать внимание на то, что сопротивление 22 кОм, вероятно, задано при температуре 20 градусов: все температурные данные «взяты с потолка». Их нужно либо рассчитывать, либо определить опытным путем.

Итак, пусть при температуре 35 градусов сопротивление 22 кОм; при температуре 45 градусов оно станет равно приблизительно 13 кОм. Наш терморезистор позволяет преобразовать температуру в постоянное напряжение. Определим изменение напряжения: при температуре 35 градусов напряжение около 2,16 В; при температуре 45 градусов напряжение около 1,32 В.

Нас вполне все устроит, но АЦП микроконтроллера позволяет измерить напряжение до 5 В, поэтому можно было бы изменить параметры делителя напряжения.

Первую разработку программы осуществим в программе Flowcode v6. У микроконтроллера PIC16F628A нет встроенного модуля АЦП, поэтому используем PIC16F887.

Работа в любой среде разработки начинается с **создания нового проекта**, где указывается модель микроконтроллера, для которой пишется программа. С появлением рабочего поля можно приступить к работе: выбрать на инструментальной панели компонент «цикл, Loop».



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Практически все микроконтроллеры работают в бесконечном цикле, то есть, повторяют одну и ту же программу от включения питающего напряжения до его выключения. Да, при выполнении программы она может частично меняться, но возвращается к началу и движется к концу.*

**Условие цикла while(1)** означает, что цикл будет повторяться до тех пор, пока единица не сменится нулем. Единица в данном случае эквивалента TRUE, то есть, условие истинно, а ноль FALSE — ложно.

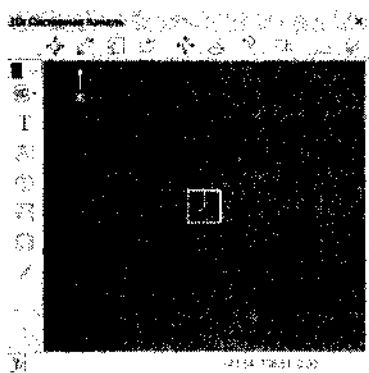


Рис. 16.2. Добавление компонента на панель Flowcode

## Макрос компонента

Теперь у нас появилась возможность использовать макрос (подпрограмму), связанный с этим компонентом. Его мы можем добавить в цикл, выбрав на инструментальной панели «Макрос компонента». Как все компоненты на панели Flowcode, наш компонент имеет свойства, которые мы пока не будем трогать, но предназначен он для выполнения операций. Список этих операций мы обнаружим, если откроем свойства макроса (рис. 16.3).

Нас интересует свойство GetVoltage (получить напряжение). Как многие подпрограммы (или функции) макрос, получив значение, должен его вернуть в программу. Для задания того, куда следует вернуть значение (то есть, в какую переменную), есть соответствующее окошко. Но мы пока не задали переменную, не так ли? Используем кнопку со стрелкой вниз справа, что откроет нам диалоговое окно переменных (рис. 16.4). Если щелкнуть правой клавишей мышки по слову переменные, то появится меню, где можно выбрать команду «Добавить».

Эта команда вызывает новое диалоговое окно задания имени переменной, выбор типа переменной. Все переменные должны иметь свой тип:

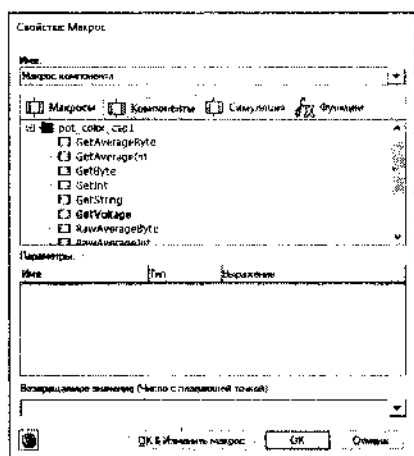


Рис. 16.3. Свойства программного компонента «Потенциометр»

байт, целое, с плавающей точкой и т. д. Поскольку для разных типов переменных программа должна резервировать определенное количество ячеек памяти. Для байтовой переменной достаточно одной ячейки, для целой переменной нужно уже две ячейки памяти.

В нашем случае нас предупредили, что возвращаемое значение должно быть с плавающей точкой (float). Поэтому в новом диалоге мы вписываем имя переменной — `volt_temper`.

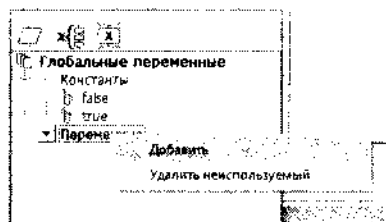
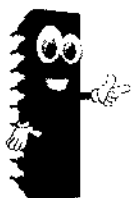


Рис. 16.4. Диалоговое окно переменных



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Это произвольное имя, как захотим, так и назовем (как назовем, так она и поплывет!).

Зададим **начальное значение 0.0** и выберем ее как Floating. Завершает этот диалог кнопка **ОК**. А двойным щелчком левой клавиши мышки по имени переменной мы переносим ее в первый диалог настройки макроса, который завершаем такой же кнопкой **ОК**.

Теперь наша программа будет постоянно прочитывать в переменную значение напряжения, приостанавливаясь на время работы АЦП (рис. 16.5).

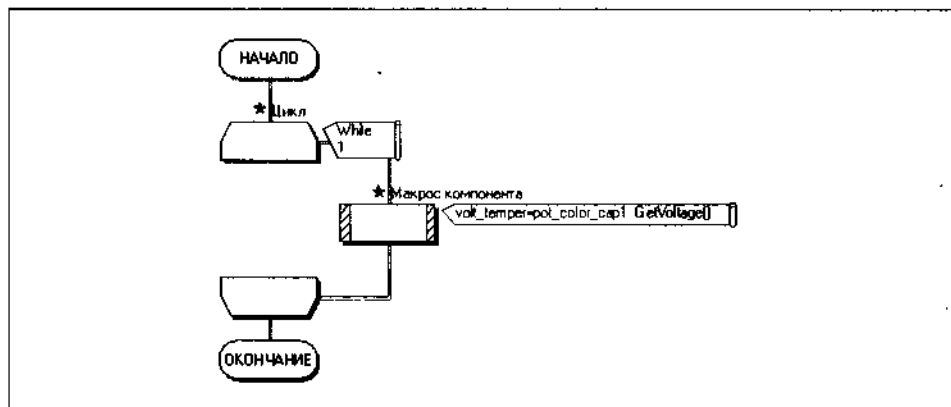


Рис. 16.5. Программа считывания напряжения

## || Не забываем сохранять программу

Звездочки возле программных компонентов напоминают нам, что пора сохранить программу, если мы не хотим, чтобы наша работа пропала даром при случайном сбое. Можно выбрать в основном меню команду **Файл→Сохранить (File→Save)**, присвоить имя проекту и указать место его сохранения.

Мы не заглядывали в свойства компонента «Потенциометр». Окно свойств открывается, когда мы выделяем компонент на рабочей панели. В свойствах по умолчанию используется вывод A0 для работы с АЦП. Нас сейчас это устраивает.

Но нас не устраивает бесконечное чтение напряжения, нам хотелось бы выполнить задуманное. А задумали мы:

- ♦ если температура выше или равна 45 градусов (напряжение на терморезисторе меньше! или равно 1,32 В) включить вентилятор (установить бит на выходе);
- ♦ если ниже или равна 35 градусов (напряжение больше! или равно 2,16 В) выключить вентилятор (снять бит). И это означает...

Это означает, что нужно на инструментальной панели найти компонент «Решение, Decision», имеющий ветвление программы: если условие выполняется или не выполняется. Первым компонентом мы включим В0 (выходной бит для включения вентилятора), вторым компонентом «Решение» мы выключим В0. В итоге программа приобретает вид (рис. 16.6). Осталось проверить программу и оттранслировать.



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

**Трансляция (компиляция)** – преобразование программы с языка высокого уровня в машинные коды.

Для этого выбираем в основном меню **Сборка→Компиляция в HEX**.

**Радиолобитель:** Почему не компиляция, а сборка?

Кроме трансляции программы, нужно подключить библиотеки и скомпоновать всю программу, поэтому «Сборка». Предупреждая вопрос, а **HEX** — это формат файла, предназначенный для загрузки в микроконтроллер с помощью программатора.

Если добавить на панель светодиод (группа Outputs), в свойствах указать подключение к биту В0, то можно запустить отладку программы

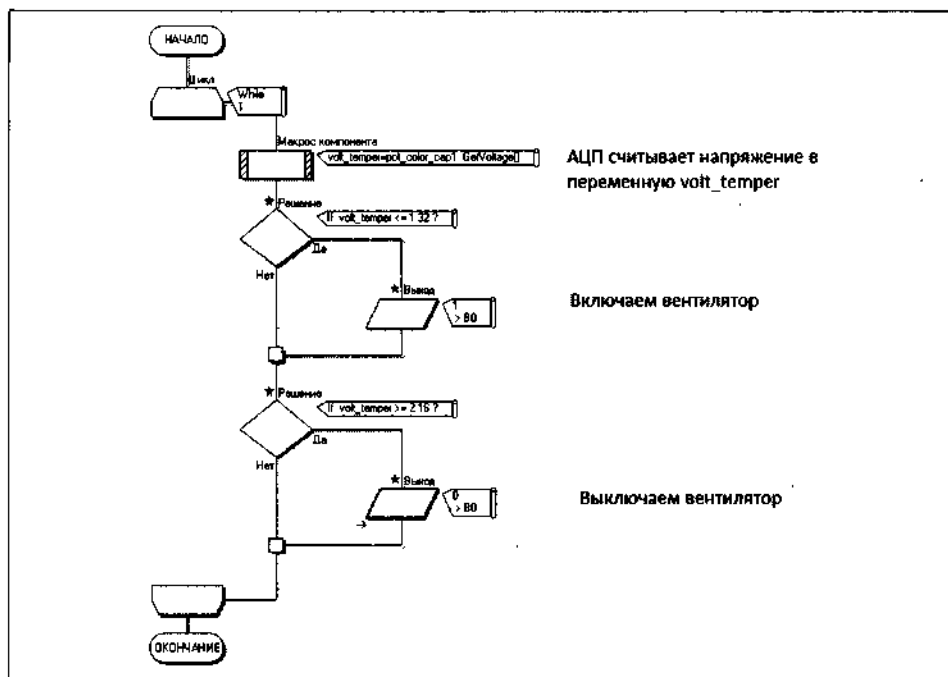


Рис. 16.6. Программа для управления вентилятором

(Отладка→Пуск/Продолжить). На панели светодиод будет загораться и гаснуть при повороте ручки потенциометра.

Если при выполнении программы использовать паузу (Отладка→Пауза), то в окошке отладчика можно задать переменную для наблюдений. Поворачивая ручку потенциометра к моменту зажигания светодиода, посмотрим значение напряжения (рис. 16.7).

## Среда разработки Arduino

Если среды разработки от производителей больше напоминают привычные программы современных операционных систем, как текстовый процессор, то среда разработки программ для модулей Arduino больше напоминает блокнот. Напоминает нам, что программу можно написать и на листке бумаги. Язык Arduino похож на Си, но разные языки программирования, наверное, все чем-то похожи. Повторим программу для **терморегулятора, используя модуль Arduino**.

Начинается работа с выбора модели Arduino и выбора порта USB (когда-то это был COM-порт), который превратился в виртуальный



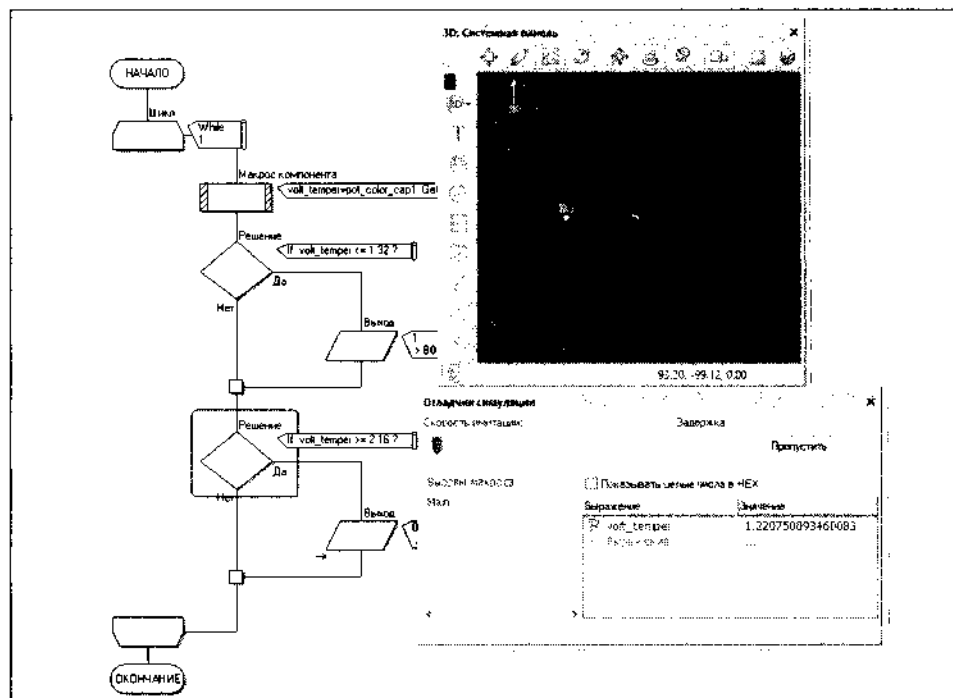
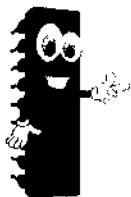


Рис. 16.7. Отладка программы

COM-порт. Для программирования модуля не требуется программатор, а порт USB используется для питания модуля, для программирования и для вывода сообщений в монитор порта.

**Программа в среде разработки Arduino разбита на две части:**

- ♦ в первой задаются все установки;
- ♦ во второй части записывается сама программа.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Для наших целей подойдет любой из модулей, программа не требует большого размера памяти, есть встроенный АЦП и достаточное количество выводов для управления.

Реальное устройство вполне можно собрать, используя **Arduino Nano**. Небольшой и недорогой модуль. Большое количество примеров, большое количество библиотек — я считаю, что этот модуль очень подходит начинающим осваивать работу с микроконтроллером.

Более того, сегодняшняя версия программы Arduino поддерживает и другие модули, базирующиеся на более сложных моделях микроконтрол-

леров, например, ARM. При этом сохраняется поддержка языка программирования, а с ней и опыт, полученный при программировании Arduino.

Насколько полезны примеры, существующие для программы Arduino, мы рассмотрим на конкретном примере, создавая программу для терморегулятора. За основу возьмем готовый пример: (Файл→Примеры→Analog→AnalogInput). Вот текст программы:

```
int sensorPin = A0; // выбор вывода для потенциометра
int ledPin = 13; // выбор вывода для светодиода
int sensorValue = 0; // переменная для чтения из АЦП
void setup() {
  // задаем ledPin в качестве OUTPUT (выхода)
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
void loop() {
  // читаем значение из АЦП:
  sensorValue = analogRead(sensorPin);
  // включаем ledPin
  digitalWrite(ledPin, HIGH);
  // останавливаем программу на <sensorValue> миллисекунд:
  delay(sensorValue);
  // выключаем ledPin:
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  // останавливаем программу на <sensorValue> миллисекунд:
  delay(sensorValue);
}
```

Оригинальная программа будет работать почти так же, как программа мигания светодиодом, но время переключения будет зависеть от напряжения, которое АЦП считывает с вывода потенциометра. В переменных задается вывод АЦП, вывод светодиода, который уже есть на плате, и переменная для считывания значения из АЦП. В установках (void setup()) **вывод 13** направляется на выход. Программа почти готова для нашей цели. Осталось разобраться с некоторыми деталями.

## О типах данных

В предыдущем примере мы использовали переменную с плавающей точкой (float) для чтения напряжения. Сейчас мы используем переменную типа целое (int). Почему так, станет понятно, если мы обратимся к руководству (datasheet) по использованию микроконтроллера ATmega328P. Встроенный модуль АЦП преобразует напряжение в число. Это число меняется от 0 до 1023. Поэтому наша переменная имеет тип *integer*. А в программе Flowcode использовалось встроенное преобразование этого числа в десятичное.

Поскольку напряжение может меняться от 0 до 5 вольт, а чисел 1024, мы можем определить, какое напряжение приходится на одно изменение числа:  $5/1024 = 4,88$  (мВ). Нам это нужно, чтобы определить, каким числам соответствуют значения напряжений:

$$2,16/0,00488 = 442,62; 1,32/0,00488 = 270,49.$$

Теперь мы легко можем исправить программу:

```
int sensorPin = A0; // выбор вывода для потенциометра
int ledPin = 13; // выбор вывода для светодиода
int sensorValue = 0; // переменная для чтения из АЦП
void setup() {
  // задаем ledPin в качестве OUTPUT (выхода)
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
void loop() {
  // читаем значение из АЦП:
  sensorValue = analogRead(sensorPin);
  // включаем ledPin
  if (sensorValue <= 270) {
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
  }
  if (sensorValue >= 443) {
    // выключаем ledPin
    digitalWrite(ledPin, LOW);
  }
}
```

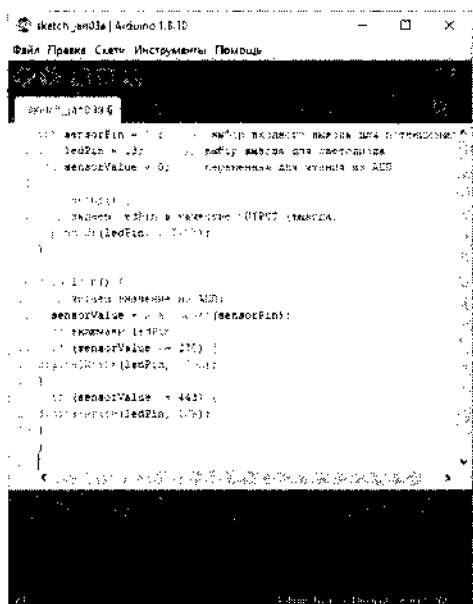


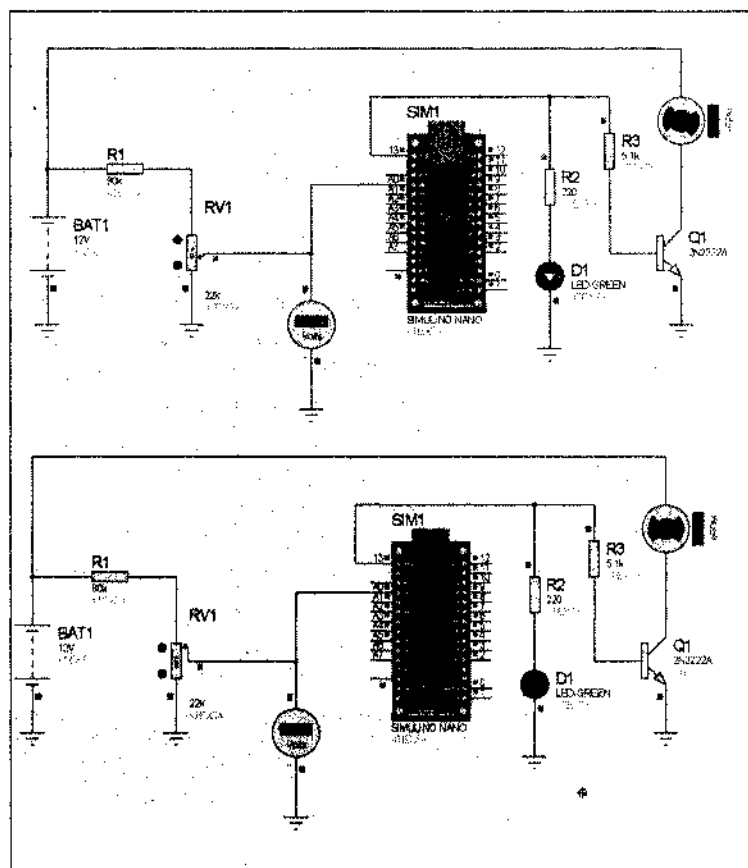
Рис. 16.8. Подготовленная программа терморегулятора

Перенесем этот текст в рабочее поле среды Arduino (рис. 16.8).

Иконка инструментальной панели с «галочкой» позволяет проверить правильность написания текста программы. Сам модуль у меня не подключен, поэтому проверка — это то, что нужно. Программа напомнит, что нужно сохранить файл, указав название проекта и место его хранения.

Многое для отладки можно сделать с помощью монитора порта:

- ♦ можно увидеть значение чисел, если подключить модуль с потенциометром;
- ♦ можно наблюдать все переменные.



**Рис. 16.9.** Схема терморегулятора и проверка работы с модулем Arduino

Но для отладки с внешними компонентами удобнее использовать программу ISIS (Proteus). В этом случае можно обойтись без подключения Arduino. Нужно только найти hex-файл, полученный после компиляции:

C:\Users\имя\_пользователя\AppData\Local\  
Temp\arduino\_build\_номер.

Для программы ISIS есть библиотека, которую можно добавить в программу, для работы с модулем Arduino. После добавления этой библиотеки достаточно ввести в строку поиска Arduino, как у вас появится выбор из модулей: SIMULINO NANO, UNO, MEGA и т. д. Добавим нужный модуль в рабочее поле программы. И не только. В программе можно собрать всю задуманную схему (рис. 16.9).

## Базовое представление о языках программирования

Наиболее часто встречающиеся программы для микроконтроллеров написаны на языке Си. Но среды разработки могут использовать разные языки программирования. Например, программа MicroBasic (рис. 16.10) использует язык Бейсик. Когда-то давно этот язык считался языком для начинающих, работал только с интерпретатором языка. То есть, написали строку программы, выполнили. Написали вторую строку, выполнили. И, если вы запишите все строки программы, они будут выполняться одна за другой последовательно.

Но уже давно есть компиляторы, работающие с диалектами языка Бейсик так же, как работают с тем же языком Си или Паскаль. Есть компиляторы объектно-ориентированного языка Бейсик. И этот язык не хуже других позволяет работать с микроконтроллерами.

Там же вы найдете набор программ для написания их на языке Паскаль, хотя создатель языка предназначал его студентам, изучающим программи-

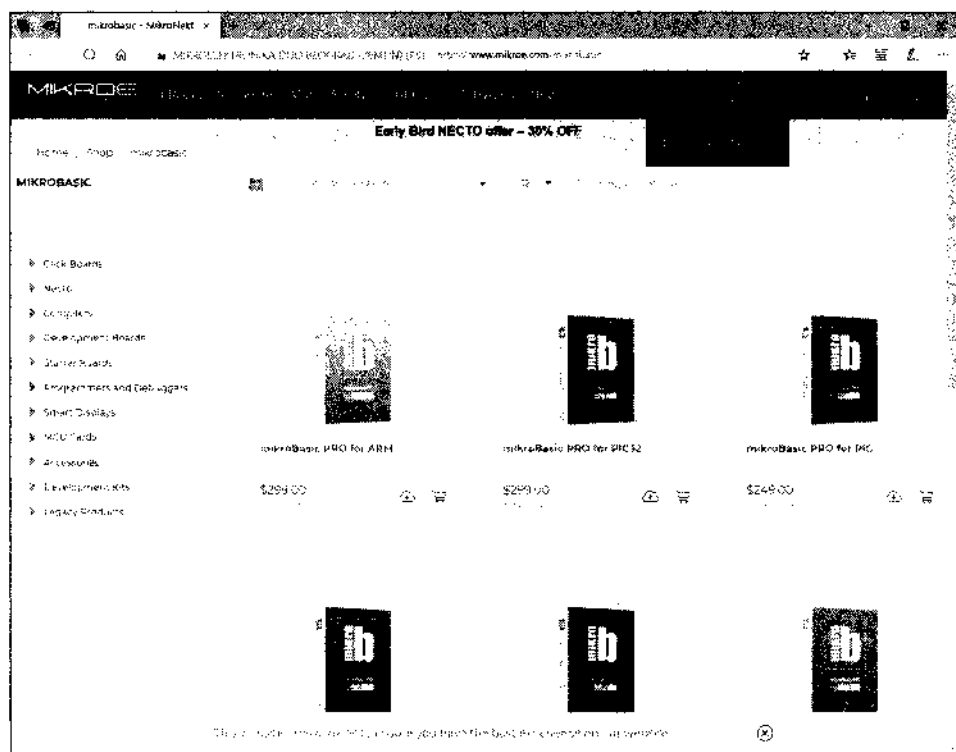


Рис. 16.10. Программа MicroBasic для работы с микроконтроллерами

рование. Было время, когда Delphi считалась лучшей программой для создания баз данных — среда разработки, использующая язык Паскаль.

### **Радиолобитель: Так ли это сегодня?**

Трудно сказать. На этот вопрос может ответить профессионал, работающий по созданию баз данных, который пробовал разные языки программирования.

Таким образом, если вы знакомы с языком Бейсик, если у вас есть возможность пользоваться средой разработки на этом языке, пользуйтесь не задумываясь.

Все языки программирования используют **базовые понятия**, как то:

- ♦ переменные и их тип;
- ♦ присвоение;
- ♦ операции арифметические и логические;
- ♦ функции (процедуры) или подпрограммы;
- ♦ ветвление программы;
- ♦ циклы и т. д.

Да, операция присвоения может записываться в разных языках по-разному. Например, переменной «var» на языке Си присваивается значение 5: `var = 5`.

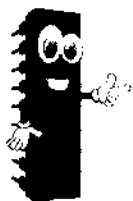
Та же операция на языке Паскаль выглядит так: `var := 5`. В этом смысле графический язык программирования оказывается более универсален. Так, программа, написанная для AVR-контроллера, может быть легко перенесена на подходящую модель PIC-контроллера.



### **СОВЕТ.**

*Радиолобителям-связистам, если они увлекаются и созданием электронных устройств на базе микроконтроллеров, можно порекомендовать ознакомиться с языком Си. Для огромного числа устройств достаточно и базовых знаний этого языка. Совсем не обязательно изучать C++, хотя компиляторы и для этого языка есть в средах разработки от производителей.*

Важно понимать, зачем нужны наиболее употребительные типы переменных. Это особенно важно для микроконтроллеров, у которых ограничен размер памяти для программы и оперативной памяти для хранения переменных. Если байт изменяется от 0 до 255, то целое число может иметь знак и меняться от -32767 до +32767 или без знака меняться от 0 до 65535. Попытка манипулировать переменной байтового типа, когда число, скажем, равно 300, вызовет ошибку.

**ВНИМАНИЕ.**

*За этим нужно следить, поскольку язык Си подразумевает, что программист знает, что он делает и сам отвечает за последствия.*

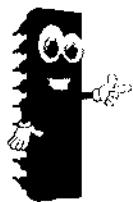
## || Основные типовые языковые конструкции

Без типового элемента любого языка программирования `if` (условие) `then` (операции) сегодня трудно создать более или менее сложную программу. Некоторые компиляторы поддерживают конструкцию `if () then () else ()`, если... то... иначе, другие ее не поддерживают. В условиях используются логические операции: равенство, больше, меньше и т. д. Но в языке Си оператор присвоения изображается знаком равенства, поэтому в условии равенство имеет начертание в виде двойного знака равно «`==`».

**Радиолобитель:** *Да! Этого не следует забывать.*

Все языки программирования используют **подпрограммы**. Но, если в языке Си все они называются **функциями**, то в языке Паскаль разделяют:

- ♦ функции (выполняющие математические операции);
- ♦ процедуры (выполняющие не математические операции).

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

*Разные языки (подчас и компиляторы) требуют разного подхода к подпрограммам: в одних случаях нужно их описать до использования, в других можно добавить их в конец программы.*

Сегодня все языки программирования хороши тем, что дают возможность использовать библиотеки функций. Это функции, которые были написаны ранее, проверены и включены в набор, который занимается, например, вычислениями. Без такой возможности ускорить собственную работу даже профессионалы тратили бы лишние усилия и лишнее время при написании кода даже не самых сложных программ.

Стремление облегчить написание кодов заставляло программистов создавать новые языки программирования, создавать новые компиля-

торы, вводить новые типовые конструкции языка. Так, для случая, когда вам приходится многократно повторять проверку какой-то переменной, чтобы выполнить определенную процедуру, вместо многочисленных **if..then** придумали переключатель **switch**, запись которого занимает меньше места, экономит время и силы программиста.

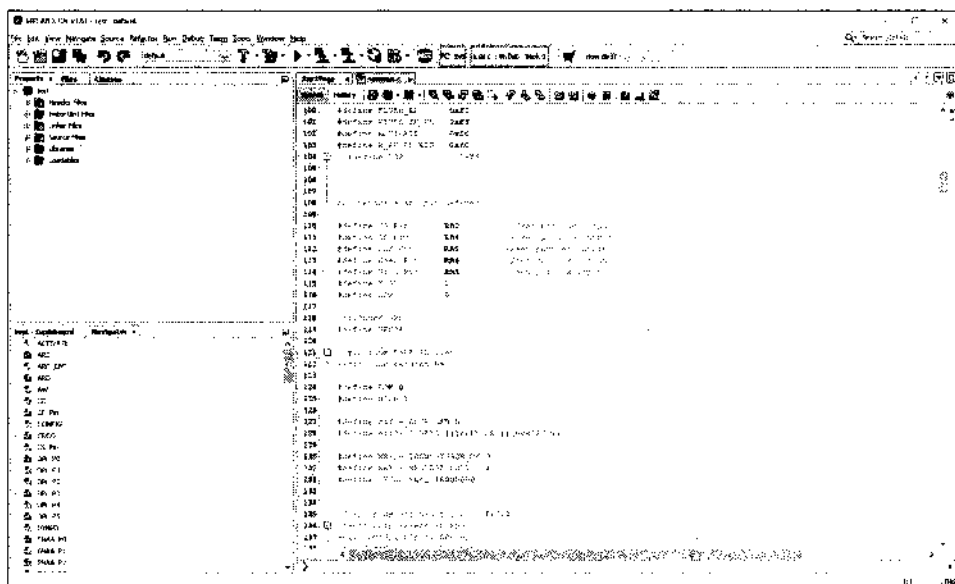
Иногда при использовании условного оператора недостаточно одного условия, в этих случаях можно применять логические операторы И, ИЛИ, НЕ. В разных языках эти операторы могут записываться по-разному: & в языке Си, and в Бейсик и Паскаль. Вот фрагмент записи на языке Бейсик:

```
Dim x, y As Boolean
x = not 23 > 14
y = not 23 > 67
```

Заданы две переменные булева типа (переменные, которые принимают только два значения), которые принимают значения TRUE или FALSE (1 или 0) по результату выполнения операции.

Вот пример программы на языке Си для PIC-контроллера (рис. 16.11).

Радиолюбителям совсем не обязательно стремиться к созданию самого компактного кода — это для профессионалов. Многие среды разработки показывают, сколько места в памяти занимает программа и сколько места потребуется для переменных.





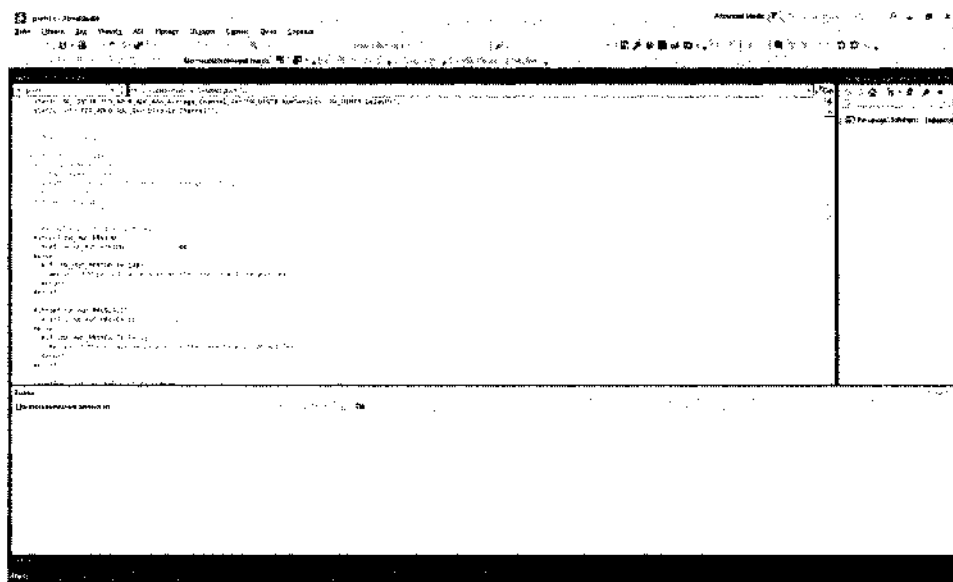
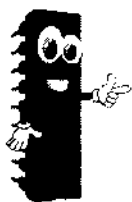


Рис. 16.12. Программа на языке Си в AtmelStudio 7.0 для AVR-контроллера



### СОВЕТ.

*Если программа получилась слишком большой, то лучше заменить модель микроконтроллера другой, имеющей больший объем памяти.*

Вместе с тем, полезно разбираться в вопросах экономии памяти, может пригодиться, например, когда устройство уже на печатной плате, но обнаруживается ошибка в работе или работа микроконтроллера оставляет желать лучшего. Переписав программу, можно столкнуться с проблемой нехватки памяти. Не факт, что вы сможете «уплотнить» программу, но попробовать стоит.

Как и в случае создания электрической схемы, перед написанием кода программы ее следует разбить на функциональные блоки, которые можно описать, написать для них код, проверить его. А получив готовые блоки программы, соединить их в целое, проверив правильность совместной работы (рис. 16.12).

# ЧТЕНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ

## Пример схемы

Вспоминая о функциональных блоках программы, начнем с этого и вопрос чтения электрических схем. Любую электрическую схему удобно читать, разбив ее на ранее знакомые функциональные узлы: блок питания, входной и выходной узлы, промежуточные узлы преобразования и вспомогательные блоки. Разберем это на примере конкретной схемы (рис. 17.1), учитывая, что и для радиолюбителей-связистов схема генератора не будет лишней.

Если верить подписи под рисунком — это **генератор**. Питающее напряжение, возможно, от аккумулятора или батарейки. Поэтому блока питания на схеме нет. Выход от усилителя по схеме с общим эмиттером на транзисторе V8. Сам генератор собран на транзисторах V1V2 с

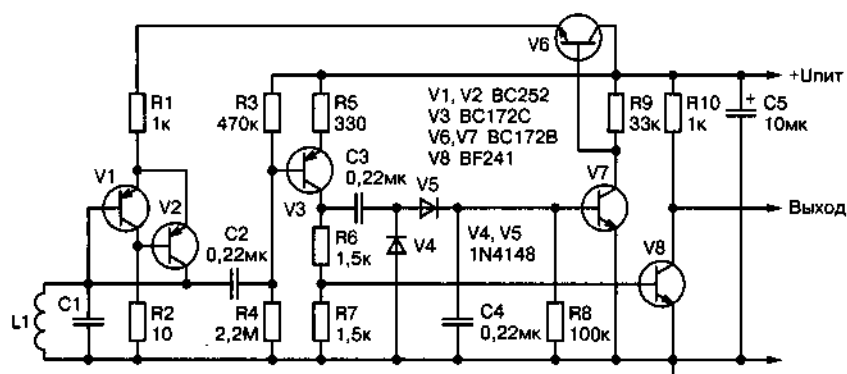


Рис. 17.1. Схема LC генератора

контуром L1C1. На транзисторах V3V6V7 собран промежуточный узел. С резистора R7 транзистора V3 снимается сигнал, поступающий в выходной узел.

**Радиолобитель:** *Чем, в первую очередь, привлекла внимание эта схема?*

Как правило, имея некоторый опыт, вы читаете схему методом узнавания, как это происходит с текстом на знакомом вам языке, когда вы узнаете слова, а не читаете их. Знакомые вам сочетания элементов схемы дают вам понимание того, что следует ожидать далее.

В данном случае при «чтении» схемы я «спотыкаюсь» на первом каскаде. Понятно, что это двухкаскадное включение биполярных транзисторов типа p-n-p с непосредственными связями. Но...

Если мне что-то непонятно, я стараюсь перерисовать схему так, чтобы она приобрела более знакомый мне вид. В данном случае перерисованная схема выглядит так (рис. 17.2).

Что же именно привлекает внимание? Включение первого транзистора между базой и эмиттером второго транзистора. Дело в том, что все биполярные транзисторы требуют, чтобы напряжение база-эмиттер для их включения было не менее 0,5...0,7 В. Тогда как ряд транзисторов имеет напряжение насыщения порядка 1 В.

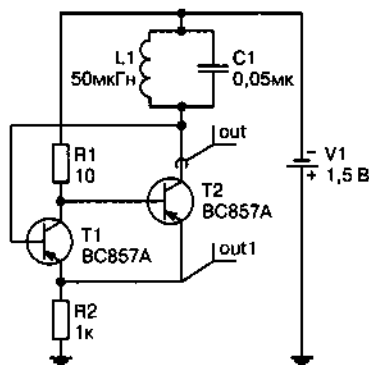
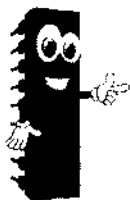


Рис. 17.2. Первые каскады генератора



#### СПРАВКА.

**Напряжение насыщения** – это напряжение эмиттер-коллектор, при котором увеличение базового тока не приводит к увеличению тока коллектора, а, следовательно, это напряжение остается неизменным с ростом тока базы.

Положим, что после включения питания базовый ток транзистора T1 будет расти, вызывая рост тока коллектора T1. Транзистор T2 будет включен. С ростом тока коллектора T1 уменьшается падение напряжения эмиттер-коллектор этого транзистора, что уменьшит базовый ток T2. Процесс продолжится до насыщения транзистора T1.

В итоге, если транзистор T1 войдет в насыщение с напряжением эмиттер-коллектор в 1 В, транзистор T2 будет открыт, или иначе — ничего интересного далее не произойдет. Так ли это?

Заглянем в справочные данные (рис. 17.3) транзистора BC857 (я не выбирал этот транзистор в качестве замены тому, что указан на схеме, но в программе моделирования это ближайший аналог).

Чтобы не искать вышеназванные транзисторы, можно применить KT361 или KT3107, у которых тоже небольшое напряжение насыщения. Таким образом, беспокойство, связанное с напряжением насыщения, можно оставить.

Двухкаскадный усилитель на транзисторах V1 и V2 охвачен цепью обратной связи: база первого транзистора подключена к коллектору второго.

На транзисторе V3 собран усилитель для выпрямителя на диодах V4 и V5. Выпрямленное ими напряжение управляет током транзистора V7. К нагрузке этого транзистора R9 подключен транзистор V6. Чем больше ток транзистора V7, тем больше падение напряжения на резисторе R9, и тем меньше падение напряжения на входе транзистора V6 (напряжение между его базой и эмиттером), что закрывает транзистор V6, уменьшая напряжение питания первых двух каскадов на транзисторах V1 и V2.

То есть, транзистор V6 регулирует питающее напряжение генератора в зависимости от выходного напряжения, генерируемого транзисторами V1 и V2. Будем считать это автоматической регулировкой усиления, о которой мы говорили в главе 15.

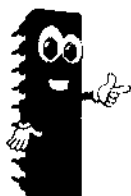
## CHARACTERISTICS

T<sub>amb</sub> = 25 °C unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I <sub>CBO</sub>	collector-base cut-off current	V <sub>CB</sub> = -30 V, I <sub>E</sub> = 0	—	-1	-15	nA
		V <sub>CB</sub> = -30 V, I <sub>E</sub> = 0; T <sub>J</sub> = 150 °C	—	—	-4	μA
I <sub>EB0</sub>	emitter-base cut-off current	V <sub>EB</sub> = -5 V, I <sub>C</sub> = 0	—	—	-100	nA
h <sub>FE</sub>	DC current gain	I <sub>C</sub> = -2 mA, V <sub>CE</sub> = -5 V				
	BC856		125	—	475	
	BC857		125	—	800	
	BC856A, BC857A		125	—	250	
	BC856B, BC857B, BC858B		220	—	475	
	BC857C		420	—	800	
V <sub>CEsat</sub>	collector-emitter saturation voltage	I <sub>C</sub> = -10 mA, I <sub>B</sub> = -0.5 mA	—	-75	-300	mV
		I <sub>C</sub> = -100 mA, I <sub>B</sub> = -5 mA, note 1	—	-250	-650	mV
V <sub>BEsat</sub>	base-emitter saturation voltage	I <sub>C</sub> = -10 mA; I <sub>B</sub> = -0.5 mA	—	-700	—	mV
		I <sub>C</sub> = -100 mA; I <sub>B</sub> = -5 mA, note 1	—	-850	—	mV
V <sub>BE</sub>	base-emitter voltage	I <sub>C</sub> = -2 mA, V <sub>CE</sub> = -5 V	-600	-650	-750	mV
		I <sub>C</sub> = -10 mA, V <sub>CE</sub> = -5 V	—	—	-820	mV
C <sub>D</sub>	collector capacitance	V <sub>CB</sub> = -10 V, I <sub>E</sub> = I <sub>C</sub> = 0, f = 1 MHz	—	4.5	—	pF
f <sub>T</sub>	transition frequency	V <sub>CE</sub> = -5 V; I <sub>C</sub> = -10 mA, f = 100 MHz	100	—	—	MHz
F	noise figure	I <sub>C</sub> = -200 μA, V <sub>CE</sub> = -5 V, R <sub>S</sub> = 2 kΩ, f = 1 kHz, B = 200 Hz	—	2	10	dB

Рис. 17.3. Справочные данные транзистора BC857

## Моделирование



### ОБРАТИМСЯ ЗА ПОМОЩЬЮ К ПК.

*Насколько справедливы рассуждения, приведенные выше, мы узнаем, когда осуществим моделирование схемы.*

Для моделирования я использую программу QucsStudio. Вы можете использовать другую программу, которая вам больше нравится (рис. 17.4).

Моделирование показывает, что генерация имеет место, более того, генерация поддерживается при изменении напряжения питания от 1,5 В до 9 В. Правда, при увеличении напряжения питания меняется частота генерации.

Прежде, чем переходить к продолжению моделирования, хотелось бы разобраться с обратной связью. Для этой цели несколько изменим схему и используем генератор синусоидального сигнала (рис. 17.5).

Совпадение по фазе входного и выходного сигнала означает, что обратная связь положительная. Положительная обратная связь, видимо, и обуславливает самовозбуждение схемы.

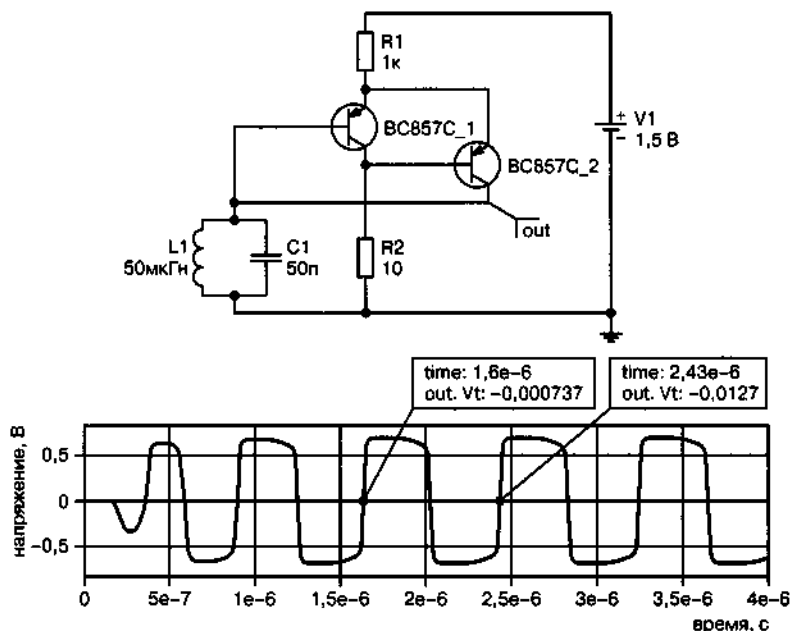


Рис. 17.4. Моделирование узла задающего генератора

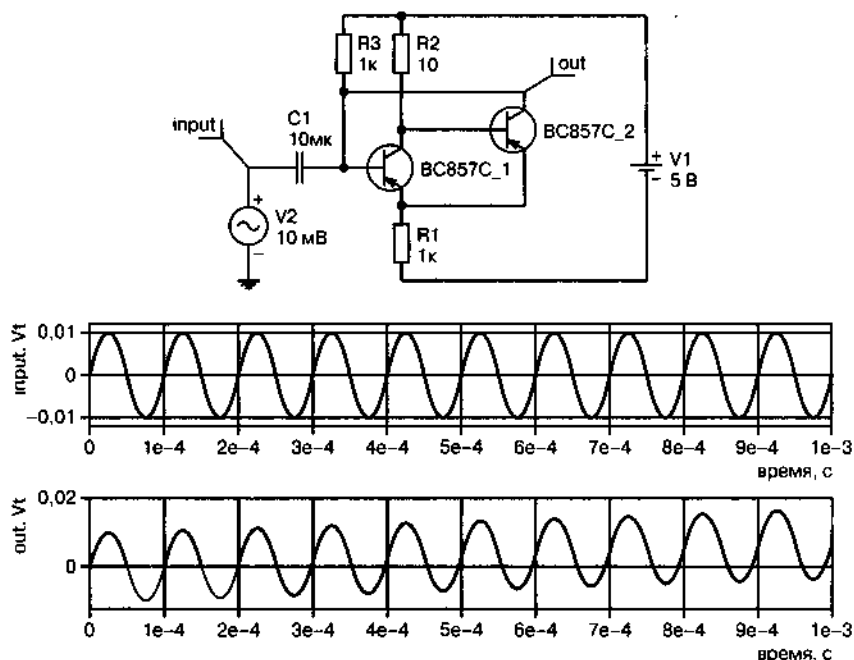


Рис. 17.5. Моделирование усилителя задающего генератора

Но что мне показалось странным — частота генерации при моделировании, похоже, ниже частоты резонанса LC контура, хотя я бы ожидал работу генератора на частоте резонанса. Проверим частоту резонанса контура (рис. 17.6).

Амплитудно-частотная характеристика фильтра показывает, что частота настройки контура (резонансная частота) больше 3 МГц.

Частота генерации, как показывает моделирование (рис. 17.4), меньше собственной частоты контура.

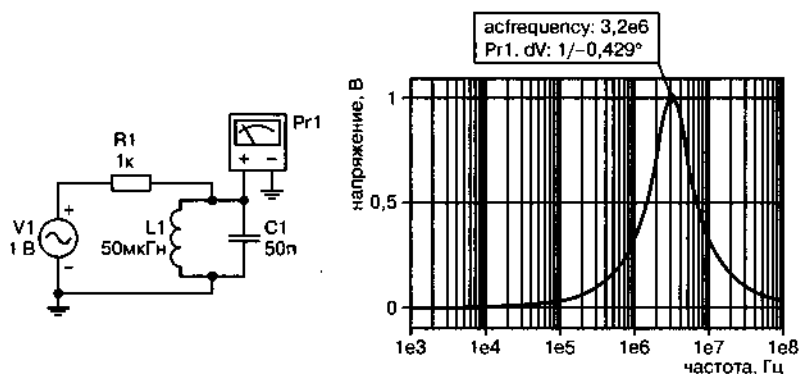
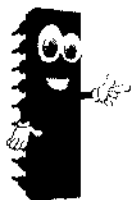


Рис. 17.6. Проверка собственной частоты резонанса LC контура



### ПРИМЕЧАНИЕ.

При моделировании процесс проходит с разной скоростью. Все зависит от сложности схемы и возможностей компьютера. Иногда в схеме есть ошибки, тайные или явные, и моделирование «замирает» на начальной стадии очень надолго. Первое, что нужно сделать, это уменьшить количество точек отсчета. Затем следует проверить схему, если моделирование «на задалось».

Теперь рассмотрим работу выпрямителя (рис. 17.7).

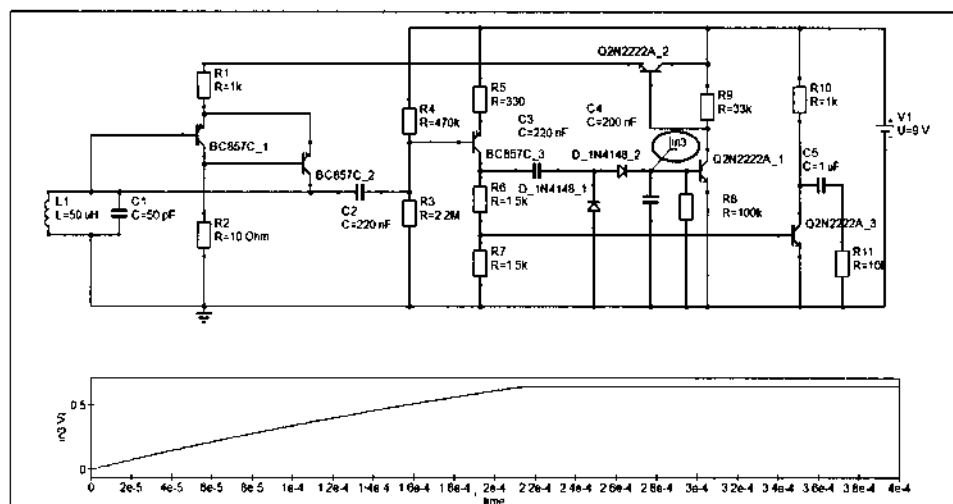
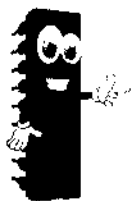


Рис. 17.7. Моделирование работы выпрямителя

Напряжение на выходе выпрямителя постепенно нарастает, затем напряжение остается на одном уровне.



### ЭТО ВАЖНО.

Заметьте, что выпрямитель подает постоянное напряжение на базу транзистора (Q2N222A\_1 по схеме на рис. 17.7). Напряжение на базе транзистора, как правило, меняется незначительно: от напряжения открывания 0,5–0,6 В до напряжения, скажем, 1 В. Таким образом, по достижении напряжения открывания транзистора это напряжение перестает быть «показателем благополучия» работы схемы. В дальнейшем, скорее всего, будет меняться ток базы транзистора.

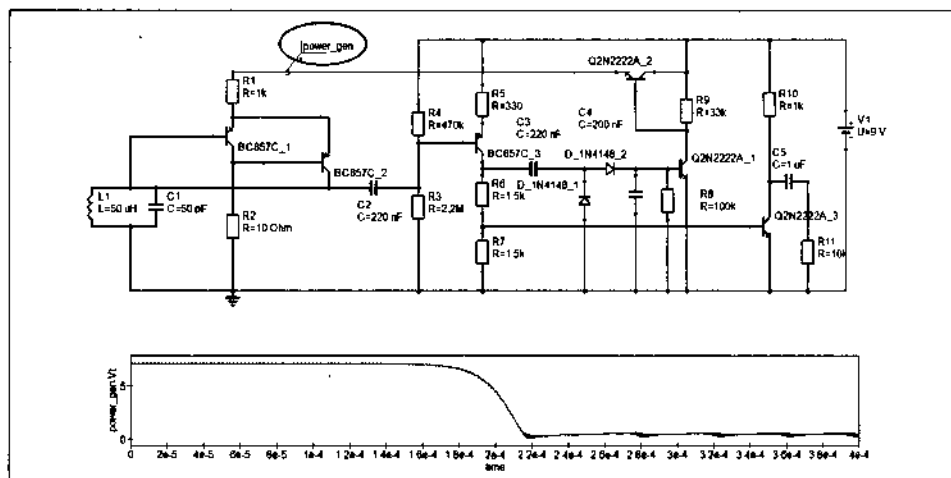
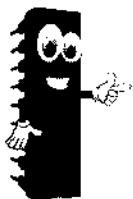


Рис. 17.8. Изменение питающего напряжения задающего генератора

Осталось проверить, как сказывается выпрямленное напряжение на напряжении питания задающего генератора на V1 и V2 (рис. 17.8).

Как мы и могли ожидать, рассматривая результат предыдущего моделирования, напряжение в начальный момент почти равно напряжению питания схемы, а в момент, когда напряжение выпрямителя достигает значения, сохраняющегося в дальнейшем, напряжение питания задающего генератора уменьшается до минимального значения, которое и сохраняется впоследствии.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Налицо автоматическая регулировка, призванная поддерживать выходное напряжение генератора на заданном уровне. Попутно регулировка влияет на заданную частоту генерации, которая зависит от параметров колебательного контура и параметров транзисторов задающего генератора.

И, наконец, то, что при моделировании более всего меня заинтересовало (рис. 17.9).

В тот момент, когда напряжение на выходе выпрямителя стабилизировалось, а напряжение питания задающего генератора стало минимальным, частота работы генератора возрастает, а сигнал становится амплитудно-модулированным.

**Радиолюбитель:** Так ли это?



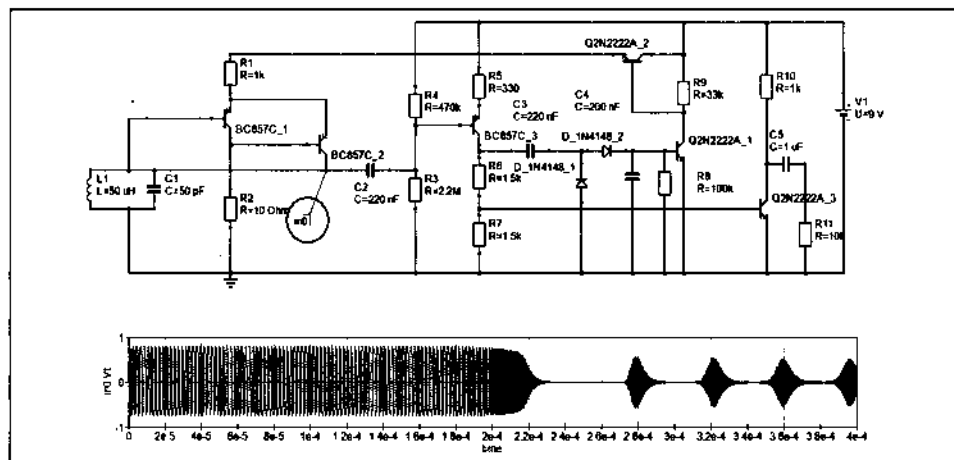
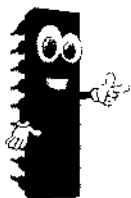


Рис. 17.9. Сигнал на выходе задающего генератора

Ответ на этот вопрос может дать только макетирование. Чтобы не покупать недостающие детали, я использую индуктивность 250 мкГн и конденсатор 30 пФ в LC контуре, предварительно проверив эту замену при моделировании. Но что покажет прямой эксперимент? Посмотрим...

## Макетирование — залог успеха

Не знаю, как вам, а мне при макетировании удобнее иметь схему и цоколевку транзисторов под рукой. Кроме замены индуктивности и конденсатора LC контура, я использую транзисторы КТ3107Л, которые есть у меня, и эти транзисторы лучше подходят (корпус) для беспаячной платы.

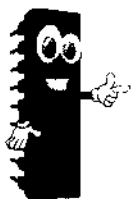


### ПРИМЕЧАНИЕ.

Можно собрать на макетной плате всю схему, но я предпочитаю разобраться без спешки — собрать задающий генератор и проверить его работу при нескольких напряжениях питания. Затем добавить следующий каскад усиления и выпрямитель и т. д.

Если вы решите собрать всю схему, то проверять ее вам придется в той последовательности, что и мне, особенно в том случае, если схема не будет работать.

**Цель макетирования** — проверить работоспособность генератора и совпадение параметров при макетировании и при моделировании. Последнее особенно важно, мне кажется, если вы ранее не работали с программой моделирования. Сравнивая симуляцию и «живую» работу схемы, вы лучше будете знать, в каких случаях можно доверять программе, а в каких случаях ее обязательно нужно проверить на макете.



### COVET.

*И еще одно замечание-совет: если вы решите изготовить катушку индуктивности самостоятельно, вы можете воспользоваться инструментальным средством программы QucsStudio, которое называется «Coil Designer» (в более поздней версии Component Designer).*

Можно рассчитать однослойную (рис. 17.10) и многослойную катушку. На рис. 17.10 показаны данные однослойной катушки. Такую катушку при наличии обмоточного провода подходящего диаметра можно намотать на подходящий резистор сопротивлением в несколько сотен килоом или в несколько мегаом.

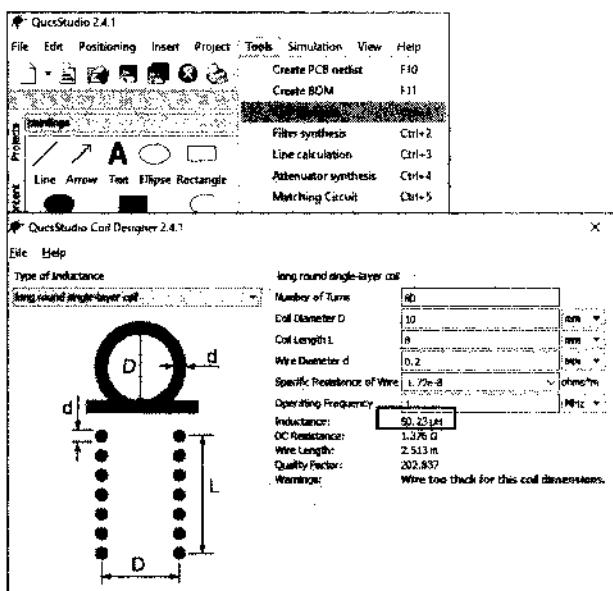
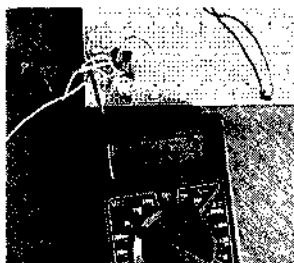


Рис. 17.10. Калькулятор расчета параметров катушек индуктивности в QucsStudio

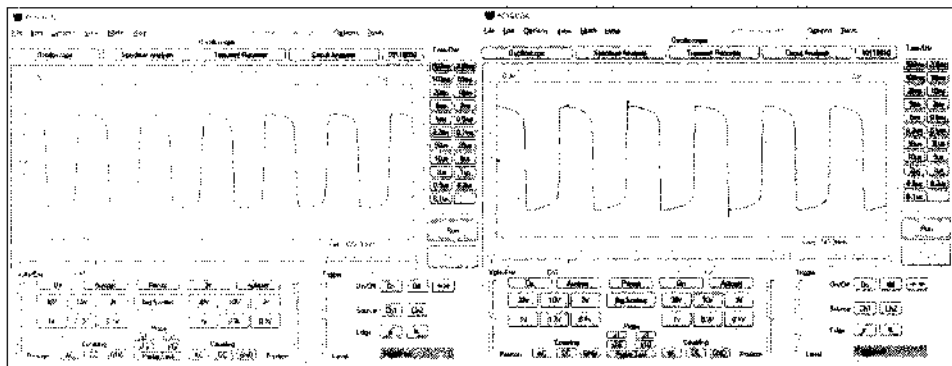


*Рис. 17.11. Задающий генератор на макетной плате*

Для экспериментов на макетной плате такое решение вполне обосновано, но, если у вас нет обмоточного провода, катушку индуктивности можно купить. Так, в магазине «Чип и Дип» подходящая катушка индуктивности сегодня стоит около 12 рублей. Впрочем, для первого эксперимента потребуются и другие детали, так что...

Собирая схему на макетной плате, постарайтесь не делать ошибок, располагайте детали так, чтобы вам легче было разобраться в соединениях. И не включайте питающее напряжение до тех пор, пока не будете полностью уверены в правильности соединений (рис. 17.11).

Как и подсказывает моделирование схемы, генератор работает и при напряжении питания 1,5 В, и при напряжении питания 5 В (рис. 17.12).



*Рис. 17.12. Работа генератора при двух напряжениях питания*

Период колебаний в первом случае (рис. 17.12, а) составляет около 2 мкс, а во втором (рис. 17.12, б) — чуть больше 4 мкс. При моделировании для первого случая период был равен 1,84 мкс. Но следует учесть некоторый разброс реальных значений элементов от заданных при симуляции. Это, во-первых! А, во-вторых, или во-первых, если хотите, ошибка всего 8%. Такая ошибка вполне допустима в любых случаях, когда вам не требуется сверхвысокая точность. Добавлю, что при моделировании с повышением напряжения питания период возрастал, что мы и наблюдаем при макетировании.

## Выпрямитель и другие контрольные точки

Работа выпрямителя может зависеть от работы остальных элементов схемы. Поэтому на макетной плате следует собрать всю схему (можно не добавлять выходной каскад). Поскольку у меня есть не все детали, обозначенные на схеме, я рискну заменить их теми, что у меня есть. Схема выглядит следующим образом (рис. 17.13).

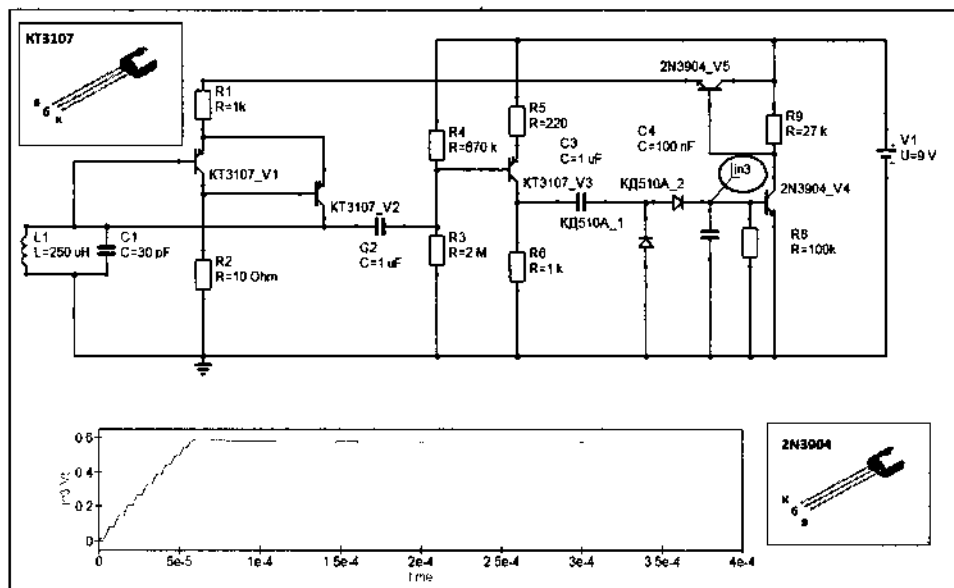


Рис. 17.13. Модифицированная схема для проверки на макетной плате

Транзистора KT3107 в программе QucsStudio, конечно, нет. Но вы можете добавить его Spice-модель:

```
.MODEL KT3107L PNP
+IS=122.346F
+BF=1.49754K
+NF=1.00001
+VAF=100
+IKF=17.61M
+ISE=387.406F
+NE=1.57934
+BR=449.34M
+IKR=9.61506K
+ISC=18.8688N
+RE=11.4991M
+RC=2.53436
```

```

+CJE=27.3893P
+VJE=700.001M
+MJE=500.287M
+CJC=27.3893P
+VJC=700.001M
+MJC=500.287M
+TF=572.343P
+XTF=500.002M
+VTF=10
+ITF=9.96114M
+TR=10N
.ENDS

```

Напряжение на выходе выпрямителя, как и следовало ожидать, нарастает до значения, при котором открывается транзистор V4, оставаясь открытым в дальнейшем (рис. 17.14). Следующая контрольная точка — это питающее напряжение задающего генератора (рис. 17.15). И, наконец, напряжение на выходе задающего генератора (рис. 17.16). Таким образом, у нас получился генератор биений, имеющий огибающую (не синусоидальную) и несущую частоту. Посмотрим, каков период несущей частоты (рис. 17.17).

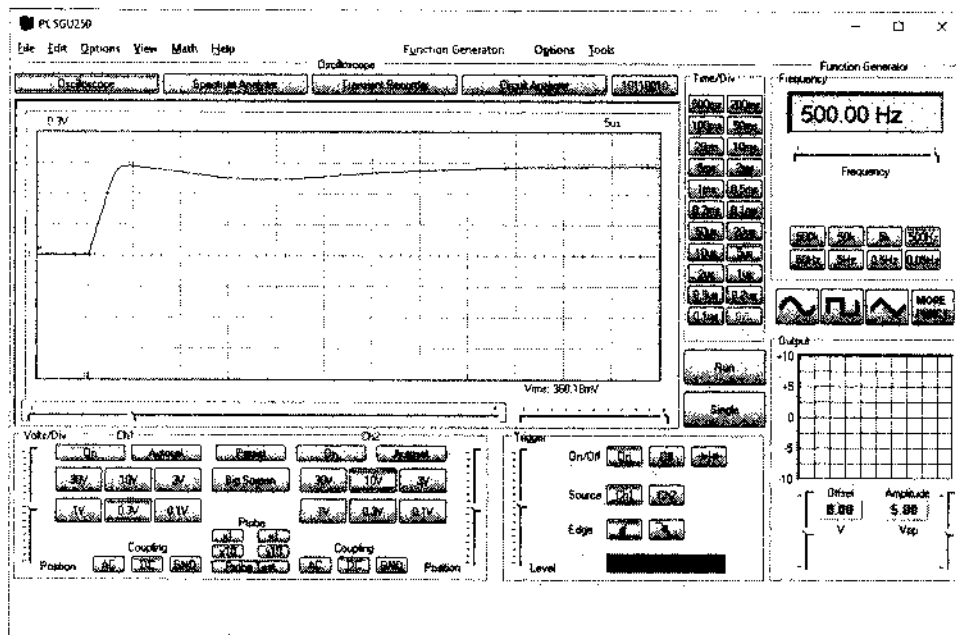


Рис. 17.14. Напряжение на выходе выпрямителя

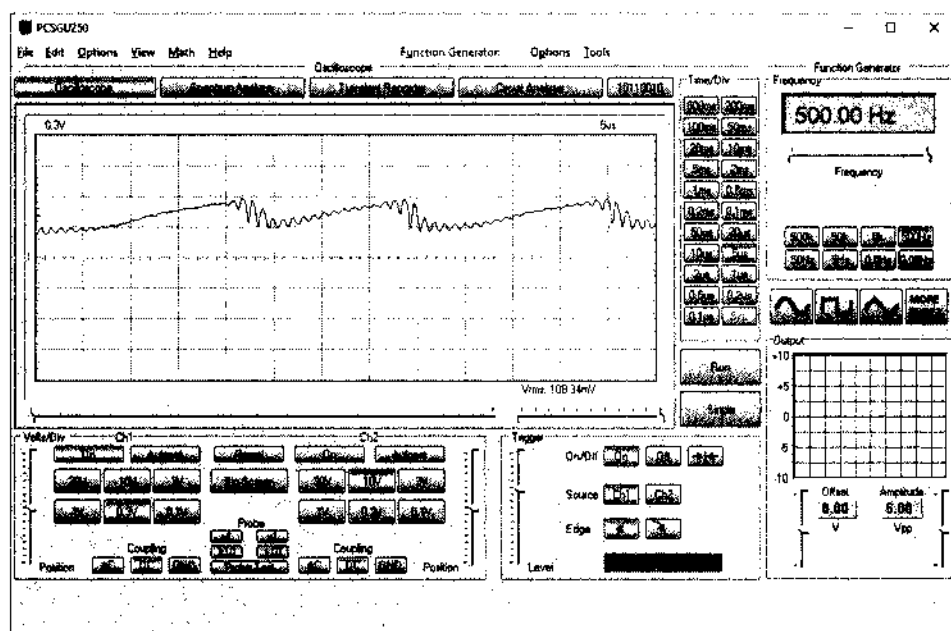


Рис. 17.15. Напряжение питания задающего генератора

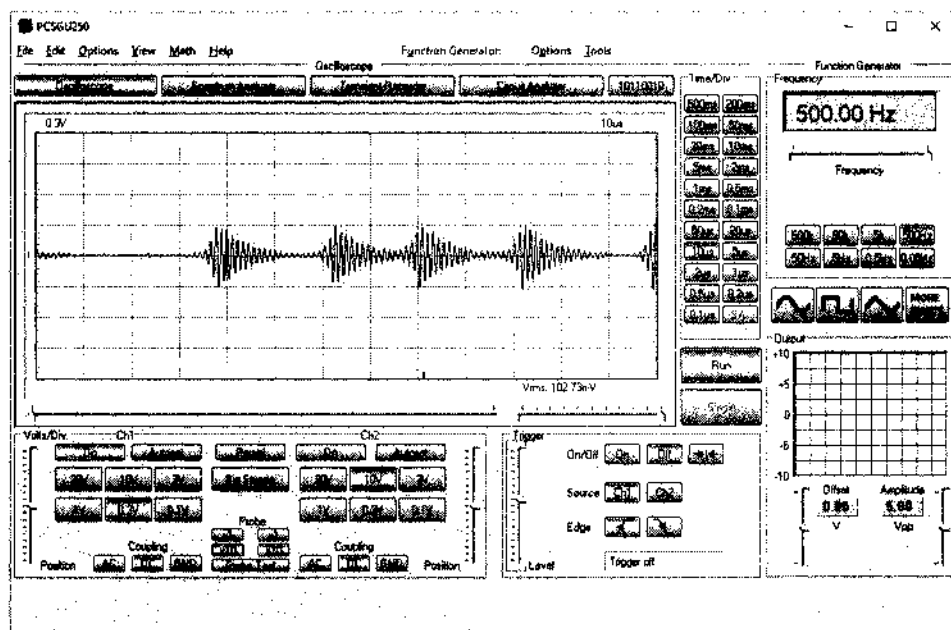


Рис. 17.16. Генерируемое напряжение

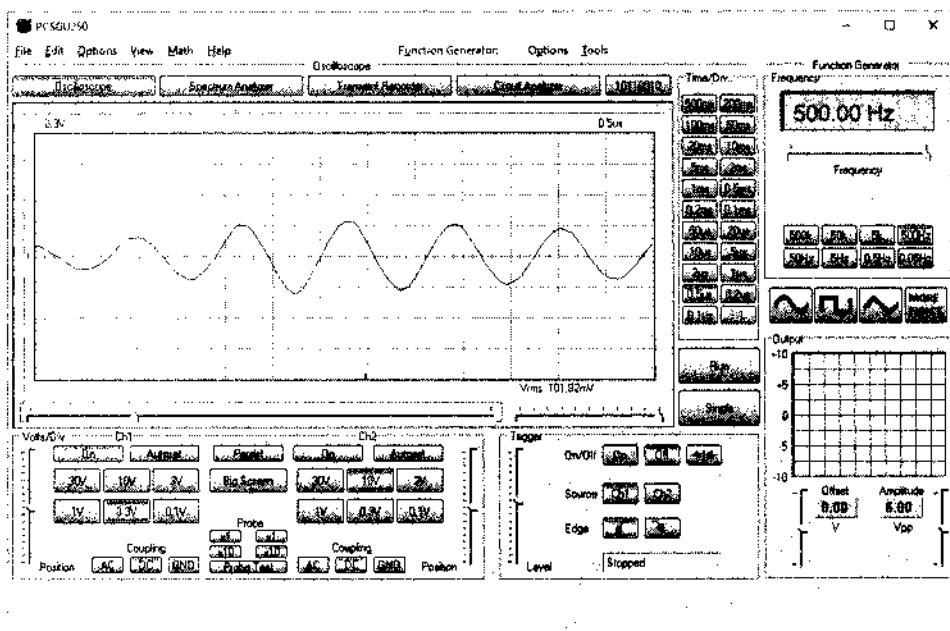


Рис. 17.17. Несущая частота генератора

Период колебаний в данном случае немного больше 1 мкс. И еще нас могут интересовать сигналы на эмиттере и коллекторе транзистора V3. Вот они, соответственно, на рис. 17.18 и на рис. 17.19.

В оригинальной схеме выходной сигнал снимается с делителя в цепи коллектора транзистора V3. Но его можно снять и с коллектора, и с эмиттера этого транзистора, если, конечно, вас устроит тот сигнал, который можно наблюдать на экране осциллографа.

Если вы человек дотошный, то осциллограмма несущей частоты, где период колебаний 1,2 мкс, может вас смутить. Резонансная частота при моделировании LC контура получается выше (рис. 17.20).

### Радиолобитель: Где же правда?

Начнем искать ее с того, что конденсатор и индуктивность могут иметь разброс в 20% в сторону увеличения значения от номинала. Добавим к этому паразитные емкости (монтажные и схемные), которые при моделировании не учитывались. И, пожалуй, главное, что я хотел бы подчеркнуть, — входная емкость пробника осциллографа может достигать величины в 70 пФ. Вот об этом не следует забывать при любых измерениях.

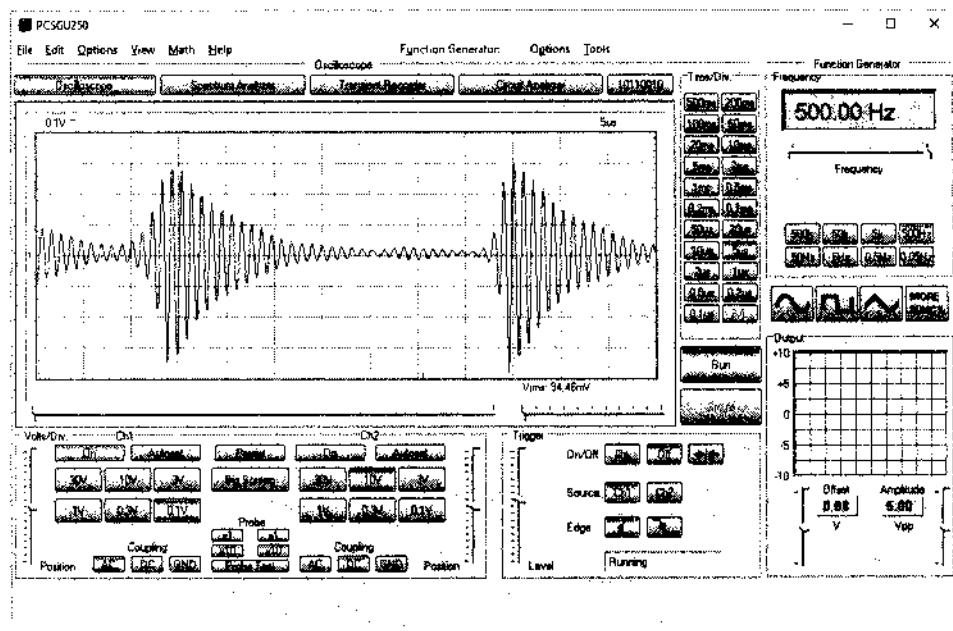


Рис. 17.18. Сигнал на эмиттере транзистора V3

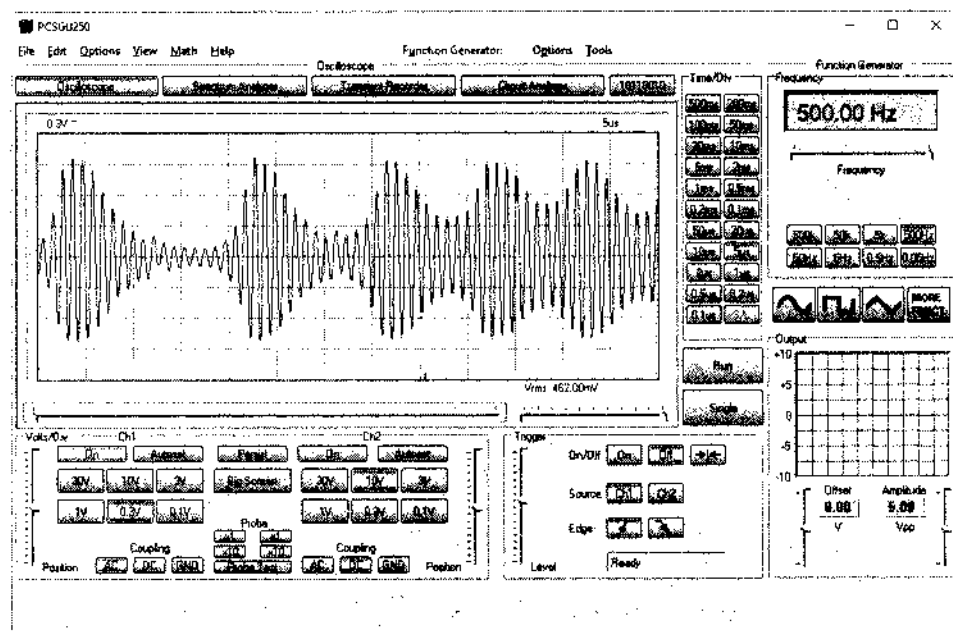


Рис. 17.19. Сигнал на коллекторе транзистора V3



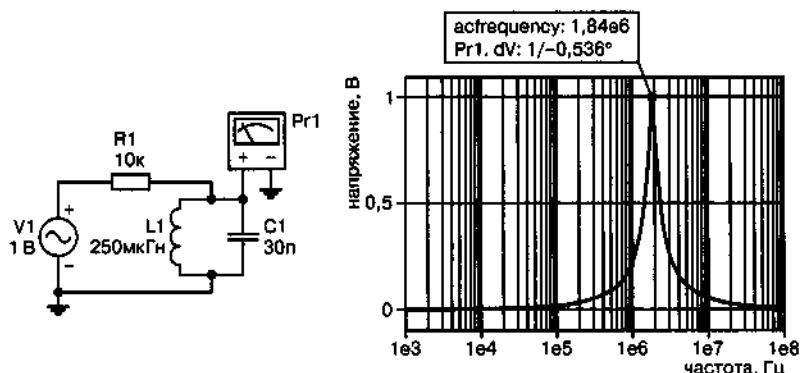
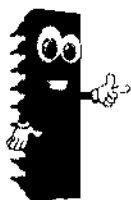


Рис. 17.20. Резонансная частота LC контура при  $L = 250$  мкГн и  $C = 30$  пФ



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Приборы всегда реальны, а программы, чаще всего, их идеализируют. Реальные приборы не имеют бесконечно малых и бесконечно больших сопротивлений и нулевых емкостей, что следует учитывать при работе с приборами!*

Если вам показанный метод чтения схем не показался излишне утомительным, вы можете применить его в своей практике. Думаю, он даст вам больше опыта в чтении схем, чем простое заучивание разных примеров электрических цепей.

# ЧАСТЬ IV

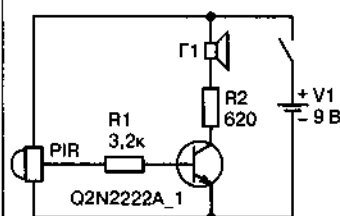
## СОЗДАНИЕ СВОИХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ ПРИОБРЕТЕННЫХ ЗНАНИЙ

*В этой части будет приведен пример нескольких устройств, которые можно собрать и использовать. Устройства будут представлены в нескольких видах – от самого простого до более сложного. Имеют ли предложенные устройства непосредственное отношение к радиоэлектронике? По крайней мере, и это так, они имеют отношение к электронике, а это существенная часть радиоэлектроники. Но главное в другом.*

*Положим, возникает необходимость или желание что-то сделать посильное, что решило бы какую-то проблему, пусть незначительную, но решение этой проблемы доставит радиолюбителю удовольствие. И радиолюбитель начинает изобретать свое устройство.*

*Конечно, каждый раз требуется свой подход к решению возникшей задачи. Но есть общие черты у каждой из реализаций:*

- ♦ нужно хорошо описать задачу;



- ♦ нужно хорошо определить необходимые для решения задачи инструменты и компоненты схемы, а мы говорим о схемах;
- ♦ нужно определить стоимость всей работы.

В любом случае радиолюбителю очень хорошим помощником станет компьютер. Как будет выглядеть эта помощь, мы рассмотрим на нескольких примерах в этой части книги.

Решение любой задачи (или почти любой) может существовать в разных представлениях. Многие начинающие радиолюбители доверяют только «авторитетным» схемам. А для решения их задачи подойдет самая простая схема. Пытаясь собрать сложное устройство, начинающий может разочароваться и забросить свое увлечение. Поэтому я советую использовать процесс, который включает работу за компьютером, а компьютер сегодня привлекает всех начинающих.

Но компьютер-компьютером, а макетирование никто не отменял. И, придумав несколько вариантов, полезно «прикинуть» их достоинства, недостатки, а главное цену каждого решения.

После несложной схемы, которую мы несколько раз усложним, мы рассмотрим простые схемы охранных устройств, варианты кодового замка, и то, как передать информацию о его состоянии на расстояние.

Что приведет нас к желанию поработать с микроконтроллерным модулем STM32F407. И мы посмотрим, что из этого желания вышло. А, если не вышло, то что может быть полезного в неудачах.

## **Глава 18. Индикатор автомобильного аккумулятора**

## **Глава 19. Макетирование и выбор варианта исполнения устройства**

## **Глава 20. Охранный прибор**

## **Глава 21. Кодовый замок**

## **Глава 22. STM32F407, Flowcode 8 и другие друзья любителей электроники**

## **Глава 23. Что полезного в неудачах?**

## **Глава 24. Модуль ESP8266 и другие его собратья**

## **Глава 25. Простые радио-самоделки, которые могут быть интересны**

# ИНДИКАТОР АВТОМОБИЛЬНОГО АККУМУЛЯТОРА

**Простая схема  
со стрелочным измерителем тока**

Можно проверять аккумулятор с помощью мультиметра — это неплохая идея. Но и сам мультиметр имеет батарейку, которая отказывает в самый неподходящий момент. Может получиться замкнутый круг. Поэтому мы пойдем другим путем. Создадим прибор для измерения напряжения на аккумуляторе, который будет показывать его работоспособность.

Существуют разные таблицы зависимости напряжения на клеммах аккумулятора от его степени заряда. Состояние электролита, температура воздуха, степень износа, — все это скажется на результатах проведенных замеров. В данном случае не требуется высокая точность измерения, но я приведу **табл. 18.1**, которую нашел в Интернете.

*Соответствие напряжения степени  
разряда аккумулятора*

Таблица 18.1

Степень заряда, %	Напряжение на клеммах, В	
	1-й вариант	2-й вариант
100	12,71	12,73
90	12,57	12,62
80	12,47	12,5
70	12,37	12,37
60	12,29	12,24
50	12,21	12,10
40	12,13	11,96
30	12,05	11,81
20	11,99	11,66
10	11,95	11,51
0	—	11,4

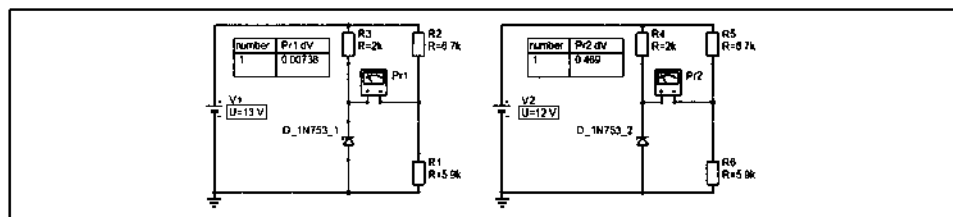


Рис. 18.1. Мостовая схема измерения

Для дальнейшей работы с этими данными можно упростить значения крайних точек: пусть полностью заряженный аккумулятор показывает 13 вольт, а почти разряженный аккумулятор показывает 12 вольт. Разница в один вольт, если использовать стрелочный измеритель, не слишком показательна. Хотелось бы «развернуть» шкалу от минимального до максимального значения.

Я использую для этого свойства мостовой схемы измерения (рис. 18.1).

Смысл используемой схемы прост: напряжение на стабилитроне 1N753 остается постоянным и при полном заряде аккумулятора (13 В), и при почти полном разряде (12 В), а напряжение на делителе R1R2 (R6R5) меняется. Подстройка одного из сопротивлений делителя позволит одно из напряжений сделать почти равным нулю (при первичном моделировании 7 милливольт).



### СПРАВКА.

*Моделирование проведено в программе QucsStudio.*

**QucsStudio** — это бесплатная программа для сквозного проектирования электронных устройств. В ее основной части можно собрать и отладить схему, во второй части KiCAD, самостоятельной и бесплатной программе, можно создать печатную плату, если это нужно. Во многих случаях это полезно даже тогда, когда разводка останется только на бумаге — она поможет при пайке готового устройства в качестве монтажной схемы. Особенно полезна программа при работе с высокочастотными устройствами и устройствами сверхвысоких частот.

Программа QucsStudio позволяет моделировать две схемы одновременно, что удобно для двух напряжений. Итог моделирования: при полном заряде аккумулятора напряжение на измерительном приборе 7 милливольт, при разряде около 0,5 вольт.

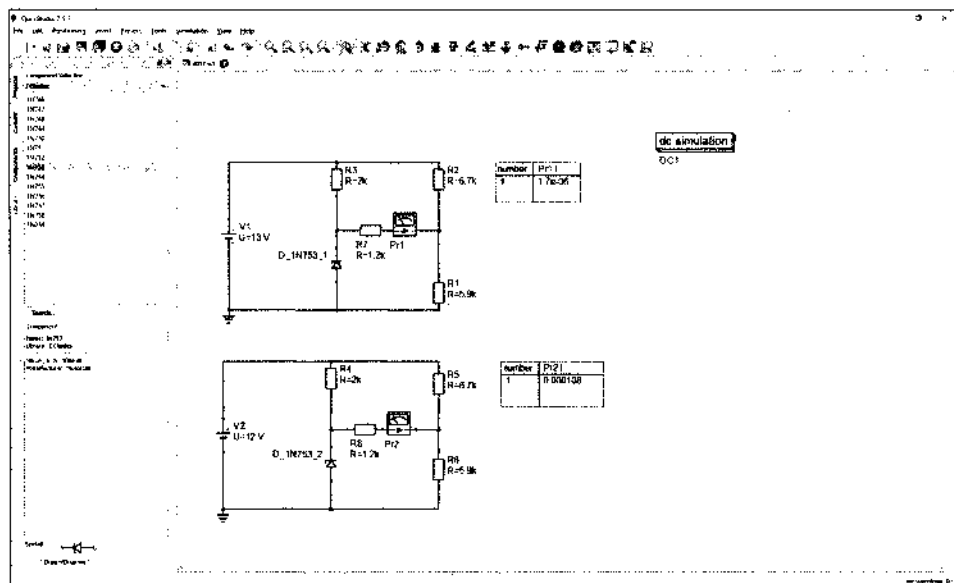


Рис. 18.2. Измерение с помощью микроамперметра

Если использовать микроамперметр, то шкала прибора окажется достаточно «растянута» (рис. 18.2).

Прибор Pr1 (Pr2) показывает значения 2 мкА в одном случае, и 100 мкА — в другом. Остается спаять схему, переделать шкалу прибора и заключить все в удобный корпус.

Резистор R7 (R8) играет роль сопротивления рамки микроамперметра, поскольку в программе мы используем идеальные приборы, у которых для амперметра сопротивление близко к нулю. Обязательно ли использовать корпус, решается, что называется «по месту». Можно смонтировать все компоненты на плате, а плату закрепить на выводах микроамперметра.

Надо полагать, что «прикуриватель» автомобиля подключен к аккумулятору. Поэтому измерять напряжение на клеммах нужды нет — мы воспользуемся «прикуривателем» автомобиля, для которого нужно обзавестись подходящим штекером (рис. 18.3).

Если вы хорошо рисуете, то можете наклеить бумагу на шкалу микроамперметра (100 мкА), отметить все напряжения (используя регулируемый источник постоянного напряжения), затем надписать эти отметки. Или начать с прикрепления шаблона в двух точках к шкале. На шаблоне будет дуга, на которую наносятся отметки. Затем можно перенести рисунок в графический редактор, где оформить шкалу и распечатать на принтере. Готовую шкалу останется аккуратно приклеить к старой шкале микроамперметра.

**chipdip.** Поиск товаров

Каталог товаров > Глазки > Кнопки, переключатели, разъемы, реле > Разъемы > Питание > Оксфорд City

### CP-703, Штекер в прикуриватель

Артикул: CP-703  
 Нем. номер: 504511404  
 Производитель: Dragon City Industries

Возможна срочная доставка сегодня

**57 руб.** ✓ 1001 шт. со склада: Москва

от 300 шт. — 50 руб.  
от 3000 шт. — на запрос

Добавить в корзину: 1 шт. на сумму 57 руб. **В корзину**

Есть аналоги

Описание	Сроки доставки	Цена и наличие в магазинах
<b>Технические параметры</b>		
Серия		CP
Функциональное назначение		штекер
Способ монтажа		на кабель
Форма контактов		пальма




Рис. 18.3. Штеккер для прибора

## || Схема с линейным индикатором и расширенными возможностями

Многим радиолюбителям простая схема со стрелочным индикатором покажется не вполне современной. Более того, хлопоты со шкалой... Нельзя ли обойти эти проблемы с помощью современных средств отображения нужной информации?

В магазине можно найти микросхему LM3914 (15,16), которая предназначена для создания линейных индикаторов. Используя несколько светодиодов, можно создать некое подобие отображения степени заряда аккумулятора, часто используемое в мобильных телефонах (рис. 18.4).

Компараторы микросхемы сравнивают входное напряжение с заданным для каждого из них резисторным делителем и переключаются по достижении входным напряжением заданного уровня. Светодиоды на выходе микросхемы включаются, отображая уровень напряжения. Такой подход вполне нас устроит, но для работы микросхемы LM3914 напряжения в 0,5 вольта может оказаться недостаточно.

Следует проверить, обращаясь к описанию работы микросхемы, какой диапазон входных напряжений она может обрабатывать. Вполне разумно предположить, что диапазон измеряемых напряжений 0—5 В.

Первое, что приходит в голову — усилить это напряжение. Например, с помощью операционного усилителя. Скажем, LM358 (рис. 18.5).

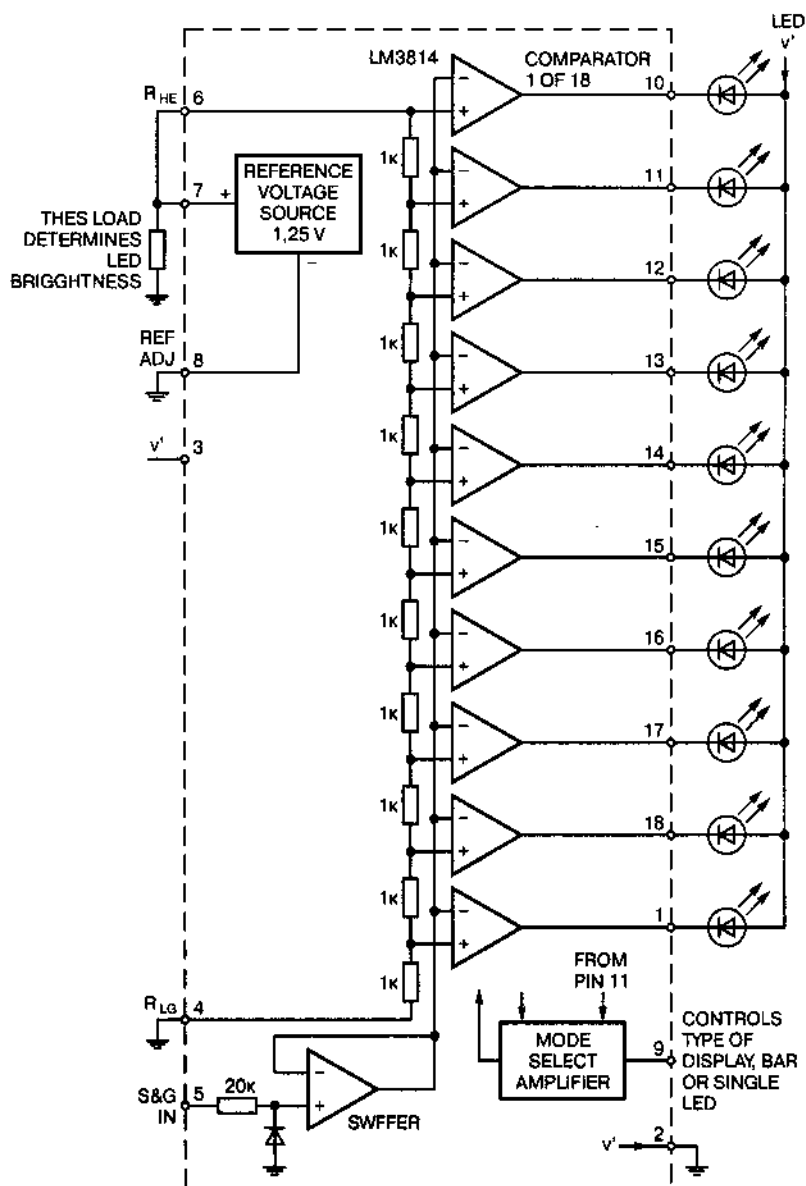


Рис. 18.4. Микросхема LM3914

Эта микросхема может работать при однополярном питающем напряжении, обладает хорошими параметрами, и она вполне доступна. Если у вас уже есть какая-то микросхема операционного усилителя, если вы хотите применить ее, то обратите внимание — многие операционные усилители хорошо работают при использовании двух источников питания. Конечно, сделать двухполярное питающее напряжение



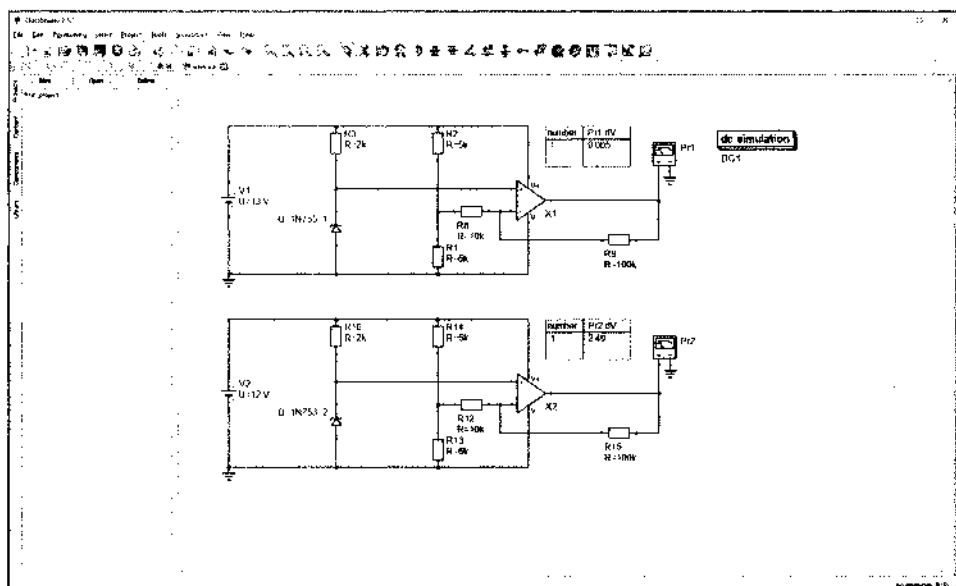


Рис. 18.5. Схема усиления сигнала

для многих не составит труда. Но пока нет предпосылок для усложнения схемы. Подумайте над этим.

Микросхема LM358 содержит два операционных усилителя в одном корпусе. Есть смысл использовать оба усилителя (рис. 18.6). Это не обя-

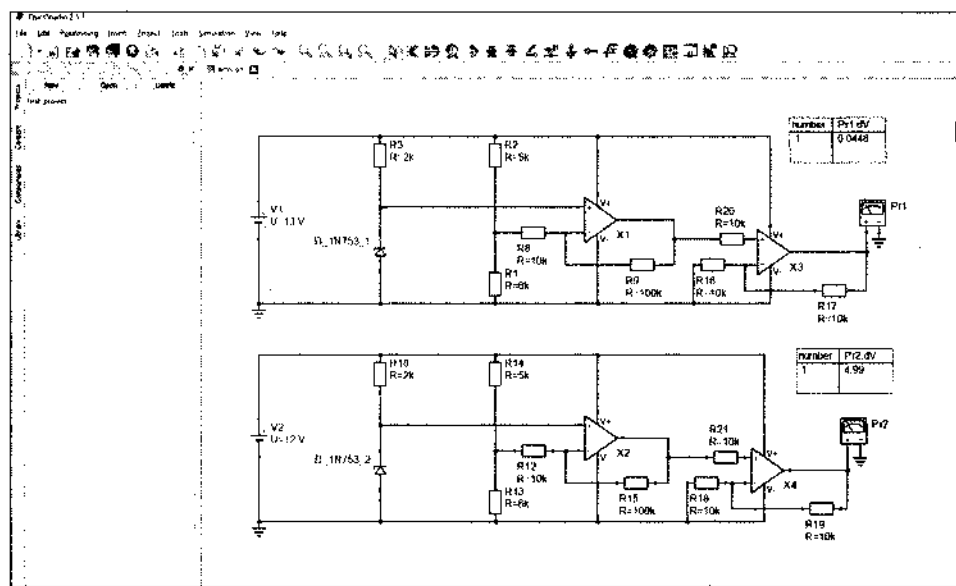


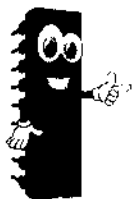
Рис. 18.6. Окончательный прототип схемы формирования сигнала для LM3914

зательно, но оставлять ресурсы без использования тоже неправильно. Поскольку предполагается проводить проверку, проверку автомобильного аккумулятора с большой емкостью, время от времени, вопрос потребления не столь актуален.

По завершении предварительных рассуждений можно перейти к моделированию всего устройства. Можно было бы, если бы в программе QucsStudio была готовая модель микросхемы LM3914. Чтобы не заниматься ее изготовлением, используем другую программу.

## Моделирование в программе Proteus

Для моделирования работы с микросхемой реализации линейного индикатора перейдем к программе ISIS (Proteus), где эта микросхема есть.



### СПРАВКА.

*Программа Proteus – это платная программа, имеющая два компонента. Один компонент – это программа моделирования ISIS, другой – программа разводки печатных плат ARES. После создания схемы устройства, ее проверки моделированием, можно сразу перейти к разводке печатной платы, получив в итоге все необходимые файлы для изготовления прототипа.*

*В программе Proteus огромное количество моделей готовых компонентов, включающих операционные усилители и микроконтроллеры. Моделирование электрических цепей осуществимо и для аналоговых, и для цифровых схем. Для аналоговых схем можно получить необходимые во многих случаях амплитудно-частотные характеристики. А встроенные виртуальные приборы удовлетворяют почти всем нуждам при моделировании.*

Но начать нужно с повторения предыдущей схемы – будет ли все работать так же (рис. 18.7).

С моделированием микросхемы LM3914 не обошлось без приключений. После сборки линейного индикатора в программе ISIS понадобилось провести несколько опытов, чтобы убедиться – модель микросхемы не работает:

Так, например, если подать напряжение на **вывод 6** (вход резистивного делителя напряжения), а **вывод 4** через микроамперметр подключить к общему проводу, то можно убедиться в отсутствии тока через делитель.

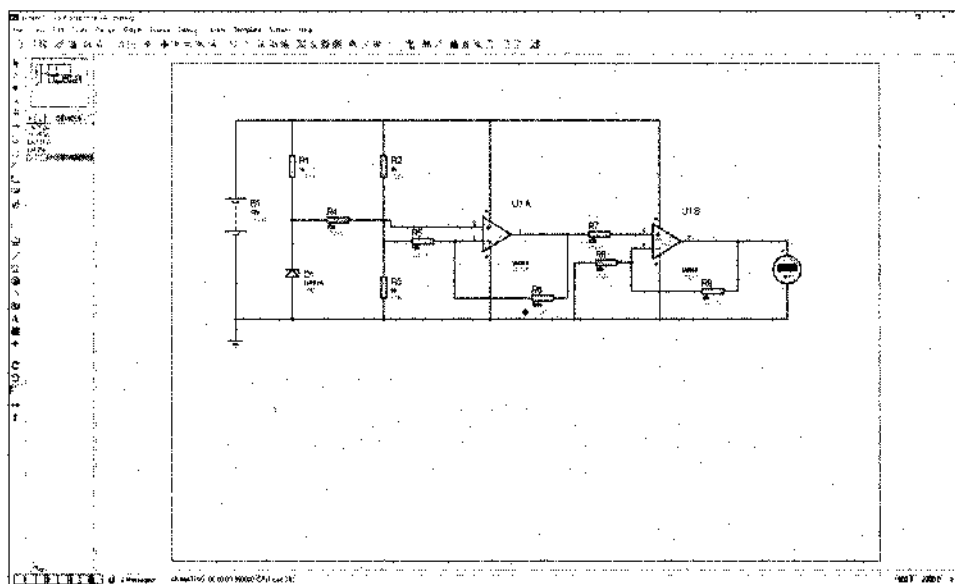


Рис. 18.7. Схема формирования сигнала в программе ISIS (Proteus)



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Получается, что вместо модели микросхемы мы получили только ее графическое изображение.

Иногда подобное происходит по причине использования компонентов только во второй части программы Proteus при разводке печатной платы.

Вместе с тем, среди примеров к программе есть работающая версия схемы (раздел Help->Sample Designs):

**SAMPLES** → *Interactive Simulations* → *Animated Circuits* → *lm3914.DSN*

В этом можно убедиться, посмотрев на **рис. 18.8**.

Схема, представленная в этой программе, моделируется. В ней работают все компоненты, включая искомую микросхему. Как правило, все примеры, поставляемые вместе с программами, работают сразу, не требуя какого-либо вмешательства.

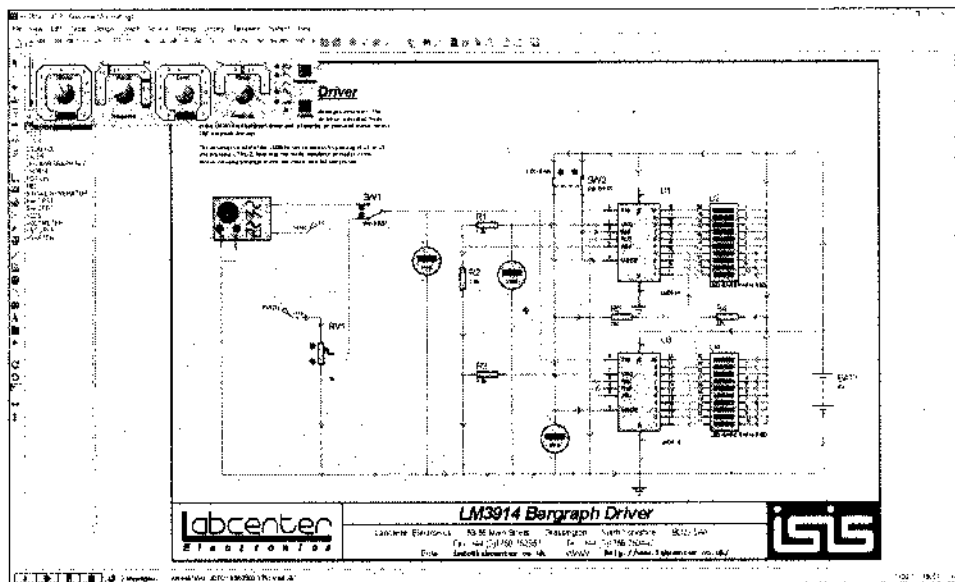


Рис. 18.8. Индикатор на основе микросхем LM3914

## Какие есть особенности в моделировании схем?

Но попытки выполнить аналогичную, но свою схему, требуют внимательного отношения к представленному примеру. Для моделирования некоторых схем требуются настройки, которые отличаются от заданных по умолчанию. Эти особенности не всегда отмечаются в комментариях к ПРИМЕРУ, хотя чаще всего отмечаются. Нужно только отнестись к ПРИМЕРУ без излишней спешки.

### Радиолюбитель: В чем же дело?

Заглянем в свойства микросхемы (рис. 18.9).

На рис. 18.9 отмечена опция, означающая, что к рисунку модели следует прикрепить иерархический модуль (подсхему). Многие программы моделирования дают возможность использовать подсхемы. Это удобно, чтобы не загромождать основную схему. Это удобно, поскольку подсхему, как пра-

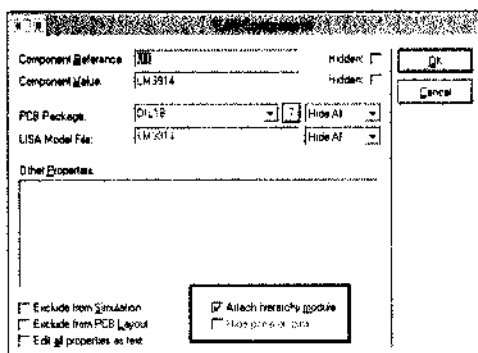


Рис. 18.9. Окно свойств микросхемы LM3914

вило, можно настроить и проверить отдельно, а включить в основную схему тогда, когда она полностью готова к работе.

Схему иерархического модуля можно увидеть, если перейти к следующему листу проекта (рис. 18.10). Именно там, на следующем листе проекта, создана схема макромодели микросхемы (рис. 18.11).

Далеко не все компоненты электронных схем имеют Spice-модели. Да, для транзисторов это справедливо. Есть модели для операционных усилителей. Но далеко не факт, что можно подобную модель создать для микросхем со сложными функциями. В этом случае используют макромодели. То есть, модели, собранные из типовых или готовых более простых элементов.

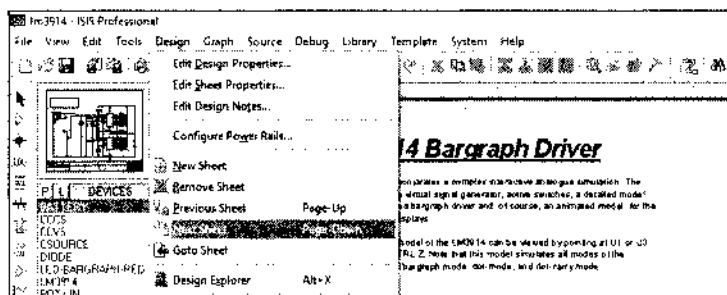


Рис. 18.10. Как перейти к следующему листу проекта

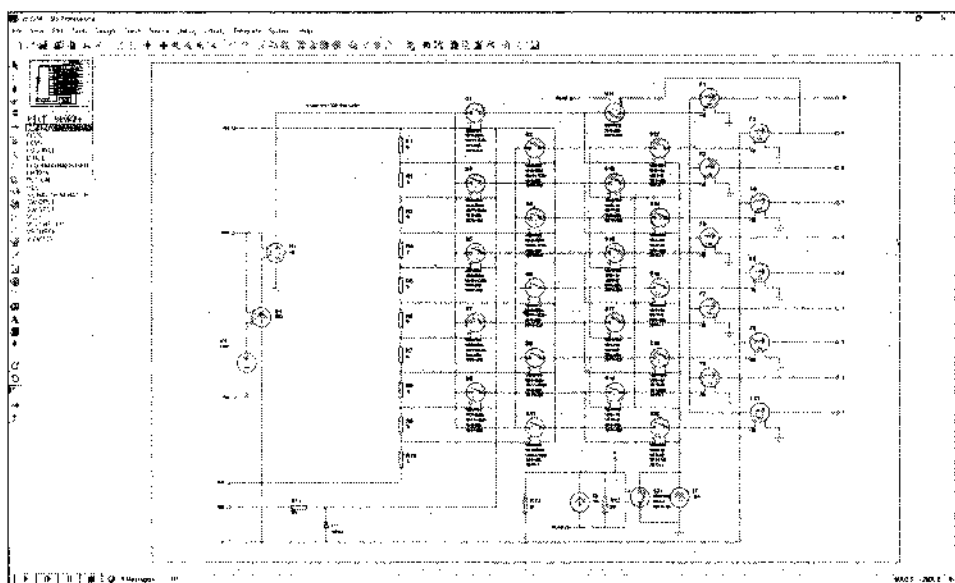


Рис. 18.11. Схема макромодели микросхемы LM3914

## Чуть-чуть о макромоделях

Часто в качестве этих элементов используют идеальные примитивы реальных компонентов. Например, это могут быть источники напряжения, управляемые напряжением, или источники тока, управляемые напряжением. Описание работы таких примитивов достаточно просто. Конечно, они могут не учитывать нелинейный характер преобразований, свойственный реальным компонентам, но в линейной области их работа достаточно хорошо описывает реальность.

Использование иерархического описания электрических схем практикуется давно. Обычно оно начинается с функциональной схемы устройства, вспомните, о чем мы говорили в главе 17. Далее следует описание основных функциональных блоков, которые тоже могут содержать подсхемы. Так реализуется иерархия электрических схем.

**Радиолобитель:** *Программа позволяет создать схему. И все?*

Многие программы моделирования нацелены не только на создание работающих устройств с переходом к изготовлению прототипа. Они позволяют быстро выполнить полный набор сопроводительной документации, включающий все необходимые чертежи. Вы могли заметить, что примеры имеют угловой штамп — необходимый атрибут любого готового чертежа.

Вернемся к нашей задаче. Теперь можно либо скопировать эту модель на второй лист проекта, либо скопировать весь проект, убрать все лишнее, добавив нужное, чтобы проверить работу своей схемы (рис. 18.12).

После проверки работоспособности всей схемы можно было бы завершить изыскания. Но так ли все готово к сборке с паяльником в руках? На этот вопрос еще предстоит найти ответ. Представьте себе, что схема собрана, упакована, лежит в «бардачке» автомобиля. Вы ее проверили, подключив к аккумулятору, убедились, устройство работает.

Но представьте себе, что прошел месяц. Вы вспомнили, что нужно бы проверить аккумулятор. Достали свой прибор, включили, и обнаружили... Что со схемой остаются вопросы.

**Первый вопрос** — шкала прибора. Вот результат изменения напряжения аккумулятора (рис. 18.13).

Если длина шкалы не устраивает (кого-то результат может смущать), можно попытаться подстроить работу микросхемы LM3914, но при макетировании.

**Второй вопрос** — «обратное» поведение индикатора. Хотелось бы, чтобы при полном заряде горели все светодиоды.

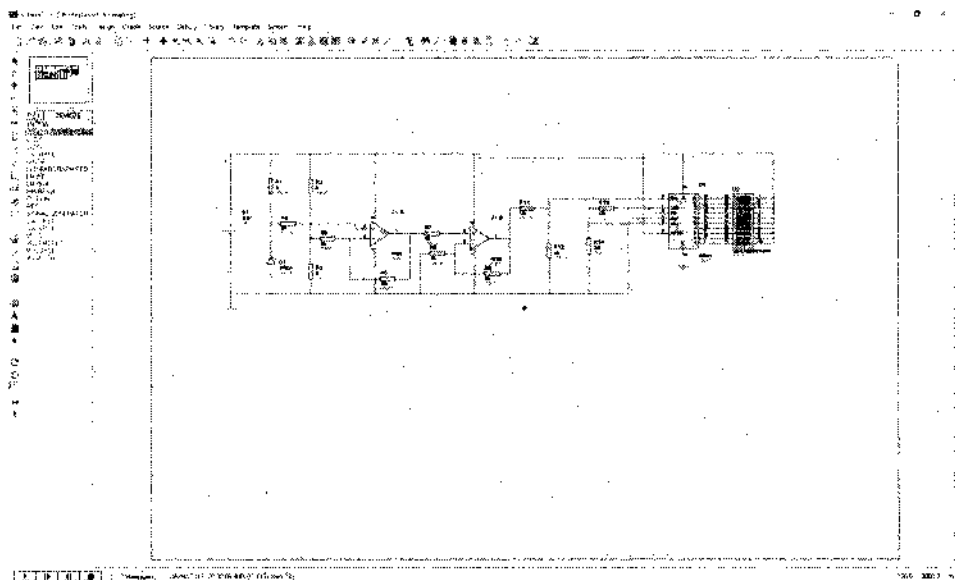


Рис. 18.12. Моделирование полной схемы в программе ISIS

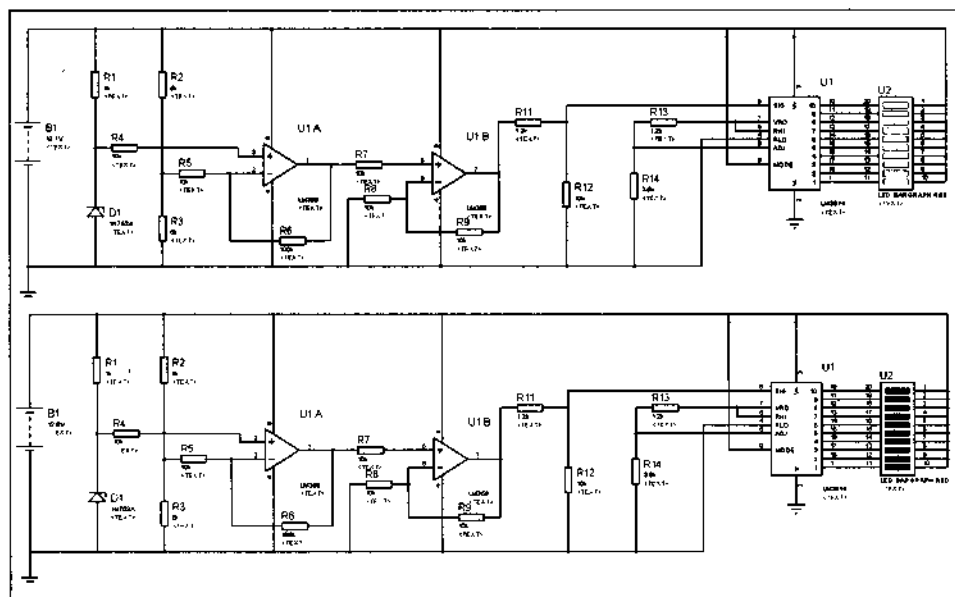


Рис. 18.13. Изменение напряжения аккумулятора от 12,1 до 12,8 вольт

## Использование микроконтроллера

Радикальное, но, скорее всего, более дорогостоящее решение. Можно использовать любую модель микроконтроллера, имеющую встроенный модуль АЦП, но мне удобнее провести опыты с модулем **Arduino Nano**, который при необходимости можно использовать в готовом устройстве (рис. 18.14).



Рис. 18.14. Модуль Arduino Nano

Этот модуль, вернее микроконтроллер модуля, имеет встроенный аналого-цифровой преобразователь, работающий в диапазоне 0—5 вольт, который обеспечит измерение напряжения.

С чего следует начать эту часть разработки? Составим таблицу соответствия степени заряда аккумулятора (по напряжению на аккумуляторе) и напряжения в диагонали моста после усиления (рис. 18.7), используя программу ISIS (схему моделирования пришлось немного «подстроить»). Это будет табл. 18.2.

Соответствие степени заряженности измеряемому напряжению

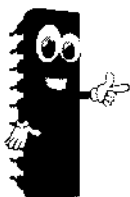
Таблица 18.2

Степень заряженности аккумулятора, %	Напряжение на клеммах аккумулятора, В	Измеряемое напряжение, В	Значение на выходе АЦП
100	12,71	0,02	4
80	12,47	0,05	10
60	12,29	1,38	276
40	12,13	3,26	652
20	11,99	4,91	982



Встроенный модуль АЦП в Arduino имеет 1023 (или 1024, сейчас неважно) «ступеньки» напряжения, то есть одна ступенька — это  $5\text{ В}/1023 = 0,005\text{ В}$ . При измерении напряжения АЦП формирует на выходе число от 0 до 1023. В табл. 18.2 добавим это значение, рассчитав его по полученным данным.

В табл. 18.2 занесены 5 значений, что подразумевает 5 индикаторов степени заряженности аккумулятора. Сколько использовать индикаторов — дело вкуса. Но, проделав предварительную работу, мы можем приступить к написанию кода для модуля Arduino.



### СОВЕТ.

*Для этой цели удобнее использовать именно программу Arduino.*

Начнем с того, что зададим переменные, которые будем использовать для аналогового входа (АЦП) и выводов, что предназначим для индикации:

```
int sensorPin = A0; // вход АЦП
int ledPin1 = 8; // первое значение, соответствующее 20 %
int ledPin2 = 9; // значение, соответствующее 40 %
int ledPin3 = 10; // значение, соответствующее 60 %
int ledPin4 = 11; // значение, соответствующее 80 %
int ledPin5 = 12; // значение, соответствующее 100 %
int sensorValue = 0; // прочитанное значение напряжения
```

В разделе настроек (void setup) укажем выводы, направленные на выход:

```
pinMode(ledPin1, OUTPUT);
pinMode(ledPin2, OUTPUT);
pinMode(ledPin3, OUTPUT);
pinMode(ledPin4, OUTPUT);
pinMode(ledPin5, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
```

И теперь в основной части программы (void loop) запишем такой код:

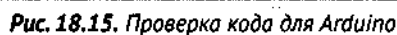
```
sensorValue = analogRead(sensorPin);
// считываем напряжение
Serial.println(sensorValue);
if (sensorValue > 980) {
```

```
digitalWrite(ledPin1, HIGH);  
digitalWrite(ledPin2, LOW);  
digitalWrite(ledPin3, LOW);  
digitalWrite(ledPin4, LOW);  
digitalWrite(ledPin5, LOW);  
}  
else if ((sensorValue<980)&&(sensorValue>650)){  
digitalWrite(ledPin1, HIGH);  
digitalWrite(ledPin2, HIGH);  
digitalWrite(ledPin3, LOW);  
digitalWrite(ledPin4, LOW);  
digitalWrite(ledPin5, LOW);  
}  
else if ((sensorValue<650)&&(sensorValue>270)){  
digitalWrite(ledPin1, HIGH);  
digitalWrite(ledPin2, HIGH);  
digitalWrite(ledPin3, HIGH);  
digitalWrite(ledPin4, LOW);  
digitalWrite(ledPin5, LOW);  
}  
else ((sensorValue<270)&&(sensorValue>10)){  
digitalWrite(ledPin1, HIGH);  
digitalWrite(ledPin2, HIGH);  
digitalWrite(ledPin3, HIGH);  
digitalWrite(ledPin4, HIGH);  
digitalWrite(ledPin5, LOW);  
}  
else if (sensorValue<10) {  
digitalWrite(ledPin1, HIGH);  
digitalWrite(ledPin2, HIGH);  
digitalWrite(ledPin3, HIGH);  
digitalWrite(ledPin4, HIGH);  
digitalWrite(ledPin5, HIGH);  
}  
delay(100);
```

Проверим работоспособность написанного кода в программе ISIS (рис. 18.15). Для удобства проверки выведем значение, получаемое через АЦП, на терминал, что потребует незначительной правки кода (выделено в тексте программы).

**Радиолюбитель:** *Мы все проверили или нет?*

Для полной уверенности в работоспособности прототипа, можно проверить схему еще раз в программе ISIS (рис. 18.16). Моделей Arduino в исходной программе может и не быть, но их легко найти в Интернете и добавить в набор моделей программы Proteus.





Если ввести в поисковую строку *Simulino*, то обнаружится ряд ссылок на видео и материалы, касающиеся данного вопроса. В частности, есть и оригинальный блог.



В блоге вы найдете, как добавить эту полезную библиотеку в программу *Proteus*. Есть примеры, показывающие работу с модулем *Arduino*. Возвращаясь к нашей задаче, посмотрим работу всей схемы.

На схеме не показано питание модуля *Arduino*. Подразумевается, что модуль питается от аккумулятора через микросхему стабилизатора, например, КРЕН5А. Дополнительные сопротивления для светодиодов следует выбрать так, чтобы микросхему стабилизатора не пришлось устанавливать на радиатор. Впрочем, можно использовать импульсный стабилизатор, у которого КПД существенно больше.

## Использование другого индикатора в схеме с *Arduino*

Кроме индикаторов, о которых говорилось ранее, можно использовать и другие типы индикаторов, включая дисплеи, которые хорошо работают с модулями *Arduino*. Но дисплей достаточно дорогостоящий компонент, использовать его имеет смысл, в первую очередь, тогда, когда он у вас, что называется, «заваялся». Или в том случае, когда вы планируете создать многофункциональное устройство, скажем, для проверки аккумулятора, для проверки числа оборотов двигателя и т. п.

Написать программу в системе *Arduino* для дисплея несложно, благо есть готовые примеры. Но пока поступим проще. Остановимся на семисегментном индикаторе.

Особенных преимуществ в данном решении нет, но... Вместо светодиодов можно использовать семисегментный индикатор.



### СПРАВКА.

**Семисегментный индикатор** – устройство отображения цифровой информации. Это – наиболее простая реализация индикатора, который может отображать арабские цифры. Для отображения букв используются более сложные многосегментные и матричные индикаторы.

Одноразрядные семисегментные индикаторы могут быть устроены на светодиодах, лампах тлеющего разряда; есть электровакуумные индикаторы (катодолю-

минесцентные, накаливаемые), нити накаливания, жидкие кристаллы и т. д. На больших табло наподобие цен на бензин могут применяться механические индикаторы, или блинкерные индикаторы, переключающиеся с помощью электромагнитов.

Википедия

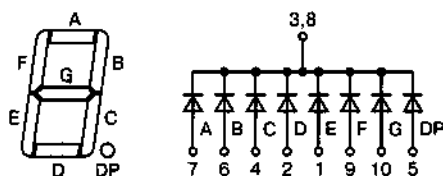
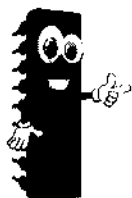


Рис. 18.17. Выводы и сегменты индикатора

Теперь при уровне заряда 20% можно высвечивать цифру 2, при 40% высветится цифра 4 и т. д. Для полного заряда можно использовать букву F. Индикатор позволяет высвечивать не только цифры, но и ряд букв.

Чтобы привести программу к нужному виду следует иметь под рукой цоколевку микросхемы с указанием сегментов. Рис. 18.17 показывает, что для **цифры 2** следует включить **сегменты A, B, G, E и D**.



### СОВЕТ.

Можно сразу попытаться исправить код программы для Arduino, но я советую сделать две таблицы. Они помогут и при написании кода программы, и при монтаже.

Соответствие цифр индикации, сегментов индикатора и выводов Arduino

Таблица 18.3

Цифра индикации	Сегменты индикатора	Выводы Arduino	Выводы индикатора
2 (20%)	A, B, D, E, G	12, 11, 6, 8, 9	7, 6, 10, 1, 2
4 (40%)	B, C, F, G	11, 10, 7, 6	6, 4, 9, 10
6 (60%)	A, C, D, E, F, G	12, 10, 9, 8, 7, 6	7, 4, 2, 1, 9, 10
8 (80%)	A, B, C, D, E, F, G	12, 11, 10, 9, 8, 7, 6	7, 6, 4, 2, 1, 9, 10
F (100%)	A, E, F, G	12, 8, 7, 6	7, 8, 9, 10

Соответствие сегментов и выводов

Таблица 18.4

Сегменты индикатора	Выводы микросхемы	Выводы Arduino
A	7	12
B	6	11
C	4	10
D	2	9
E	1	8
F	9	7
G	10	6

Чтобы внести изменения в программу удобно скопировать предыдущий вариант и внести правку:

```
int sensorPin = A0; // вход АЦП
int ledPinA = 12; // Сегменты индикатора и выводы Arduino
int ledPinB = 11;
int ledPinC = 10;
int ledPinD = 9;
int ledPinE = 8;
int ledPinF = 7;
int ledPinG = 6;
int sensorValue = 0; // прочитанное значение напряжения
void setup() {
  pinMode(ledPinA, OUTPUT);
  pinMode(ledPinB, OUTPUT);
  pinMode(ledPinC, OUTPUT);
  pinMode(ledPinD, OUTPUT);
  pinMode(ledPinE, OUTPUT);
  pinMode(ledPinF, OUTPUT);
  pinMode(ledPinG, OUTPUT);
}
void loop() {
  sensorValue = analogRead(sensorPin);
  // считываем напряжение
  if (sensorValue > 980) { // заряд аккумулятора 20%
    digitalWrite(ledPinA, HIGH);
    digitalWrite(ledPinB, HIGH);
    digitalWrite(ledPinC, LOW);
    digitalWrite(ledPinD, HIGH);
    digitalWrite(ledPinE, HIGH);
    digitalWrite(ledPinF, LOW);
    digitalWrite(ledPinG, HIGH);
  }
  else if ((sensorValue < 980) && (sensorValue > 650)) { // заряд 40%
    digitalWrite(ledPinA, LOW);
    digitalWrite(ledPinB, HIGH);
    digitalWrite(ledPinC, HIGH);
    digitalWrite(ledPinD, LOW);
    digitalWrite(ledPinE, LOW);
    digitalWrite(ledPinF, HIGH);
    digitalWrite(ledPinG, HIGH);
  }
  else if ((sensorValue < 650) && (sensorValue > 270)) { // заряд 60%
    digitalWrite(ledPinA, HIGH);
    digitalWrite(ledPinB, LOW);
    digitalWrite(ledPinC, HIGH);
    digitalWrite(ledPinD, HIGH);
    digitalWrite(ledPinE, HIGH);
    digitalWrite(ledPinF, HIGH);
  }
}
```

```

digitalWrite(ledPinG, HIGH);
}
else if ((sensorValue<270)&&(sensorValue>10)){ // заряд 80%
digitalWrite(ledPinA, HIGH);
digitalWrite(ledPinB, HIGH);
digitalWrite(ledPinC, HIGH);
digitalWrite(ledPinD, HIGH);
digitalWrite(ledPinE, HIGH);
digitalWrite(ledPinF, HIGH);
digitalWrite(ledPinG, HIGH);
}
else if (sensorValue<10) { // заряд 100%
digitalWrite(ledPinA, HIGH);
digitalWrite(ledPinB, LOW);
digitalWrite(ledPinC, LOW);
digitalWrite(ledPinD, LOW);
digitalWrite(ledPinE, HIGH);
digitalWrite(ledPinF, HIGH);
digitalWrite(ledPinG, HIGH);
}
delay(100);
}

```

Теперь результат измерения заряженности аккумулятора будет отображаться в виде цифры на индикаторе (рис. 18.18). При желании легко дополнить код программы с тем, чтобы шаг был не 20%, а, скажем, 10%.

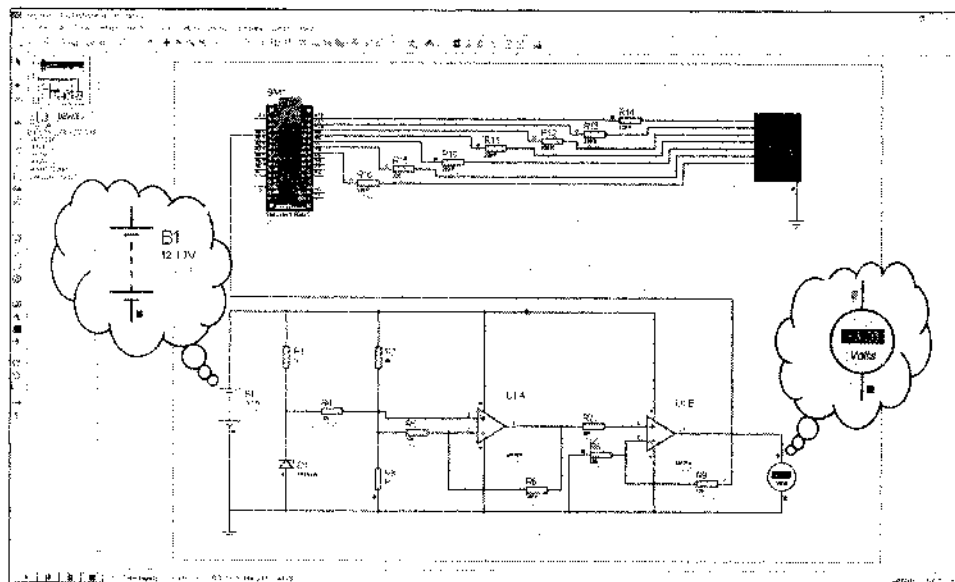


Рис. 18.18. Работа устройства с семисегментным индикатором

# МАКЕТИРОВАНИЕ И ВЫБОР ВАРИАНТА ИСПОЛНЕНИЯ УСТРОЙСТВА

## Макетирование варианта со стрелочным индикатором

Если вы каждодневно работаете с программой моделирования и многократно сравнивали результаты моделирования с результатами макетирования, то вам, во многих, случаях нет нужды в макетировании. Но и читать этот рассказ вам тоже нет резона.

Тем, у кого не столь богатый опыт, я советую перейти к макетированию. Далеко не у всех радиолюбителей есть склад с полным набором необходимых компонентов. Бежать в магазин и покупать недостающее — это не самое удачное решение. Ряд схем позволяет заменить отсутствующие детали их аналогами.

Поэтому макетирование начнем с поиска подходящих компонентов и проверки правильности замен при отсутствии ранее рассмотренных деталей.

У меня первая проблема возникает со стабилизатором. При моделировании использован стабилизатор с напряжением стабилизации 6,2 В, в наличии есть стабилизатор с напряжением 5,6 В.

Возвращаемся к схеме, где нам предстоит выяснить, что следует изменить при такой замене компонента. Попутно постараемся привести значения величины сопротивления каждого из резисторов к значениям стандартного ряда (рис. 19.1).

Теперь обратимся к стрелочному прибору.

**Радиолюбитель:** Далеко не у всех он есть.



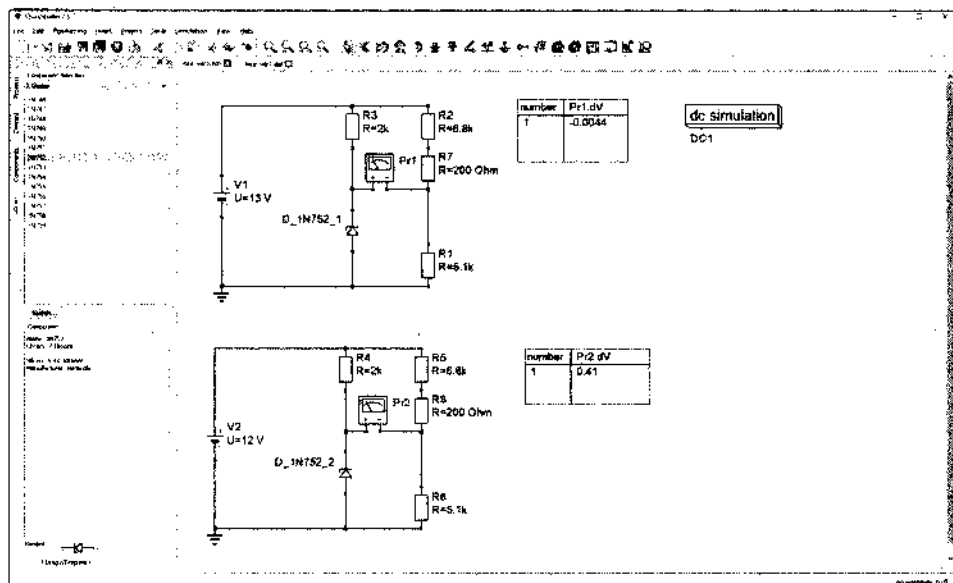


Рис. 19.1. Модификация схемы для проведения макетирования

Когда-то давно все тестеры имели стрелочный прибор — сердце тестера. Начинаящие радиолюбители покупали самые дешевые модели, им вполне хватало такого тестера для работы. Когда выходил из строя переключатель диапазонов, что происходило очень нескоро, или ломался корпус прибора, далеко не каждый радиолюбитель был склонен ремонтировать измерительное устройство, которое уже не в полной мере удовлетворяло их требованиям.

После покупки новой модели, старый тестер отправлялся в кладовку. Повальный характер процесс приобрел с появлением недорогих цифровых тестеров, мультиметров. Если у вас в кладовке есть старый тестер, его измерительная головка может вполне подойти. Но, если это не так, то можно купить микроамперметр.

Введем в поисковик «микроамперметр 100 мкА». Посмотрим, что есть в продаже (рис. 19.2).

Сегодня найти прибор стало сложнее, чем это было когда-то. Впрочем, есть радиорынок, где есть многое из того, чем не увлекаются магазины.

Стрелочные измерительные головки достаточно дорогие компоненты. Это объясняется сложностью их изготовления. Если вам приходилось разбирать какой-нибудь микроамперметр, вы знаете, что рамка крепится на растяжках, которые едва видны без увеличительного стекла. Вы замечали, что стоит одной из растяжек ослабнуть, и рамка застревает в зазоре магнита. И, если с этим каким-то образом получа-

**M42305/M42304 (97862), Головка измерительная аналоговая 100мкА**

Артикул: M42305M42304 (97862)  
 PartNumber: M42305  
 Nom. номер: 9000211158  
 Производитель: Китай

**340 руб.** Только в рознице  
Цена и сроки поставки по запросу

от 5 шт. — 314 руб.  
от 50 шт. — по запросу

Добавить в корзину 1 шт. на сумму 340 руб. **В корзину**

Описание Сроки доставки Цена и наличие в магазинах

**Технические параметры**

Тип измерительной головки (толкача)	Постоянный ток
Диапазон	100мкА
Размеры, мм	69x60




Рис. 19.2. Микроамперметр

ется справиться, то может обнаружиться другой дефект — показания прибора стали далеко уходить от паспортных данных по точности.

Посмотрим, что покажет моделирование при замене вольтметра (предыдущий опыт) амперметром с подходящим сопротивлением (рис. 19.3). Будем исходить из того, что напряжение в диагонали моста увеличивается до значения 0,5 В:

$$0,5 \text{ В} / 1000 \text{ Ом} = 0,0005 \text{ А.}$$

Получается, что рассчитанное ранее значение в 500 мкА превратилось в 100 мкА. Чтобы проверить, какое значение соответствует дей-

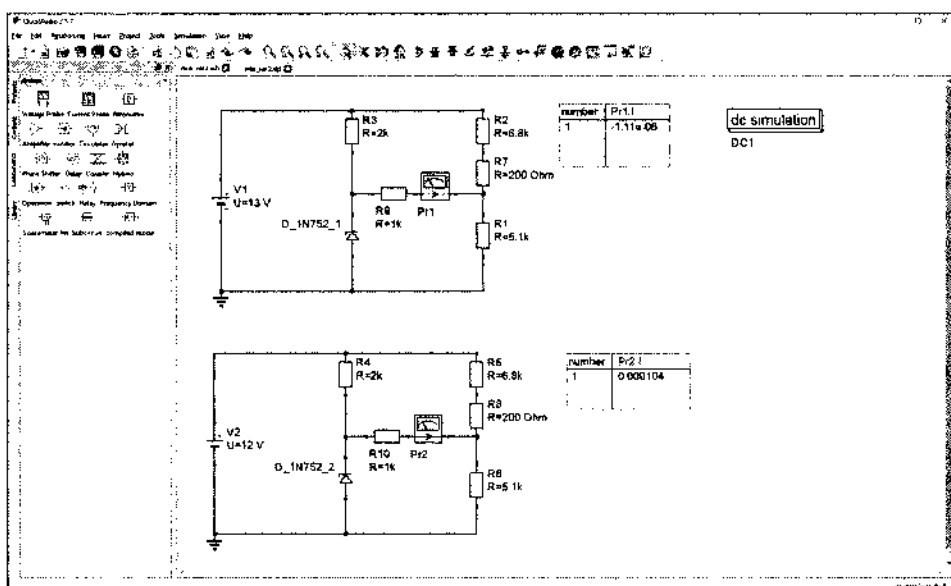


Рис. 19.3. Моделирование схемы при замене вольтметра микроамперметром

ствительности, проведем измерение с помощью мультиметра. При использовании резисторов с допуском 1% и некотором изменении схемы: резистор R8 переместился к резистору R6, — результаты измерения таковы:

12,86 В — 5 мкА; 11,94 В — 98 мкА.

Я считаю результат достаточно хороший, поскольку стабилитрон 1N752, использованный при моделировании, и стабилитрон КС156А, который использовался при макетировании, похожи, но это разные компоненты. Вдобавок для стабилитронов допустим разброс параметров, вследствие чего можно ожидать и некоторого разброса результатов.

Стоимость решения со стрелочным прибором

Таблица 19.1

Компонент	Количество	Стоимость, руб.
Резистор 0,25 Вт, 1%	5	5×2 = 10
Стабилитрон КС156А	1	79
Штекер	1	57
Измеритель 100 мкА	1	340
Подстроечный резистор 2 кОм	1	58
Плата для монтажа	1	79
Коробка	1	420

Итого: 1043 руб.

Наибольшие затруднения может вызывать переделка шкалы, если вам захочется ее переделать. Шкалу можно и оставить, вы легко будете ориентироваться, ориентируясь на степень «разряда аккумулятора», считая, что 10 — это 10% разряда, и т. д.

Перерисовать шкалу можно «по месту», если у вас есть способности красиво писать цифры. Вы можете отметить карандашом нужные значения, закрасить прежние цифры и написать новые. Скорее всего, а это так и бывает, разметка шкалы не будет совпадать с новыми значениями. Придется закрасить и линии деления шкалы. Подобрать белую краску так, чтобы не было заметно подкраски, или подчистить старые надписи и линии — это не так просто, как кажется на первый взгляд, нужен опыт. Поэтому проще, возможно, будет нарисовать шкалу в графическом редакторе и напечатать на принтере.

## Преобразование напряжения

Переходя к рассказу о других индикаторах, я, признаюсь, больше внимание уделил самой идее, но не моделированию, что и тогда мне показалось неправильным, что сейчас я и хочу исправить.

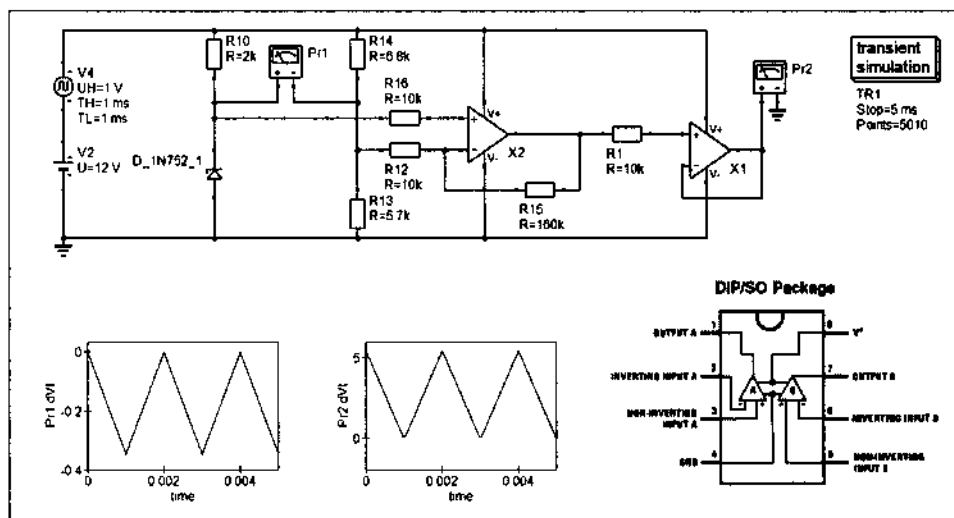
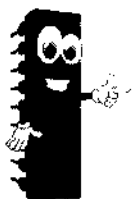


Рис. 19.4. Подбор резисторов измерительного моста для преобразования напряжения

Итак. Вернемся к идее. Для работы с перечисленными ранее индикаторами нам потребуется преобразовать напряжение в диагонали моста в напряжение от 0 до 5 вольт. Для этой цели мы использовали операционный усилитель LM358. Повторим моделирование с заменой стабилитрона, но на этот раз используем прием, который легко реализуется при моделировании — добавим к батарейке с ЭДС 12 В генератор пилообразного напряжения с амплитудой 1 В (рис. 19.4).

Теперь можно приступить к макетированию (для этого на рис. 19.4 добавлено обозначение выводов микросхемы). Моделирование полезно еще и тем, что можно схему прототипа распечатать на принтере. Ее можно нарисовать карандашом на листе бумаги. Но, думаю, вы не будете возражать, распечатка на принтере при его наличии существенно упрощает подготовку к макетированию.



### СОВЕТ.

Иногда полезно перед сборкой макета выполнить еще и разводку печатной платы. Нет, не для изготовления платы, а чтобы получить монтажную схему, которая после распечатки на принтере хорошо дополнит принципиальную схему устройства. Монтажная схема уменьшает вероятность ошибок. А последние могут приводить к непоправимым последствиям для компонентов схемы.

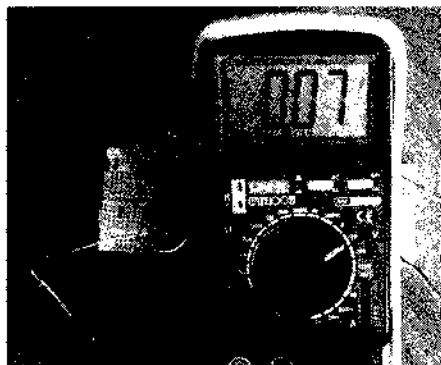


Рис. 19.5. Проверка схемы преобразования измерительного напряжения

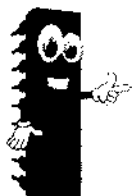
При настройке значение резистора R13 пришлось изменить:

$$R13 = 6,1 \text{ кОм.}$$

При такой настройке:

- ♦ 13 В — 70 мВ (рис. 19.5);
- ♦ 12 В — 5,39 В.

Это устраивает в качестве макетного образца.



### СОВЕТ.

В реальном устройстве, похоже, полезно будет добавить подстроечный резистор.

## Схема с линейным индикатором

У меня нет микросхемы LM3914, и нет желания ее покупать, хотя это не так дорого (рис. 19.6). И сам индикатор тоже покупать я не собираюсь (рис. 19.7).

Поэтому составим спецификацию для данного решения (табл. 19.2), на чем и завершим эту часть работы.

Стоимость решения с линейным индикатором

Таблица 19.2

Компонент	Количество	Стоимость, руб.
Резистор 0,25 Вт, 1%	7	$14 \times 2 = 28$
Стабилитрон КС156А	1	79
Штекер	1	57
Микросхема LM358	1	50
Микросхема LM3914	1	150
Линейный индикатор	1	58 (зеленый), 35 (красный)
Подстроечный резистор 2 кОм	1	58
Плата для монтажа	1	79
Коробка	1	420

Итого: 979 руб.

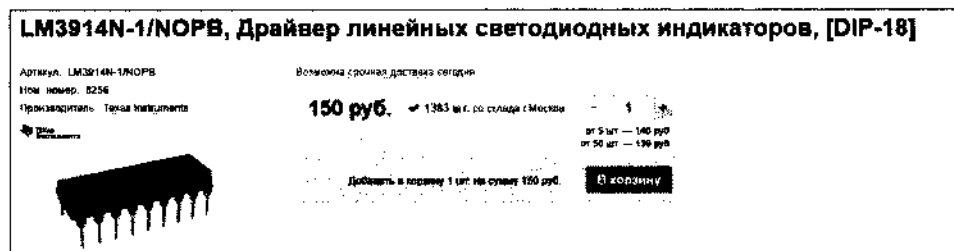


Рис. 19.6. Микросхема для линейного индикатора

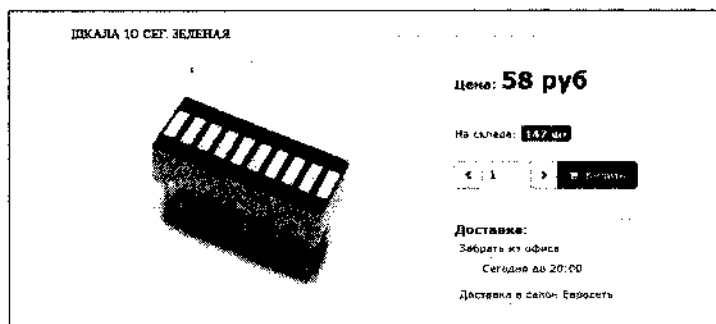


Рис. 19.7. Линейный индикатор

## Макетирование устройства с микроконтроллером

Макетировать схему с Arduino и светодиодами нет необходимости, поскольку вместо светодиодов лучше использовать **линейный светодиодный индикатор**, от покупки которого, впрочем, я отказался. Поэтому проведем макетирование варианта с семисегментным индикатором (рис. 19.8). Для удобства работы с макетом питание модуля Arduino осуществляется от порта USB. При необходимости изменить программу модуль можно сразу обновить.

Начнем макетирование, пожалуй, с проверки таблицы соответствия напряжений и значений, определяемых АЦП модуля Arduino (табл. 19.3). Для этого немного подправим программу для Arduino, добавив вывод на терминал, как мы это делали, значений, считываемых аналого-цифровым преобразователем. Загрузим программу в модуль Arduino, подключим вход АЦП к выходу операционного усилителя и заполним таблицу. Возможно, программу не придется править, тогда останется подключить индикатор и провести окончательную проверку.

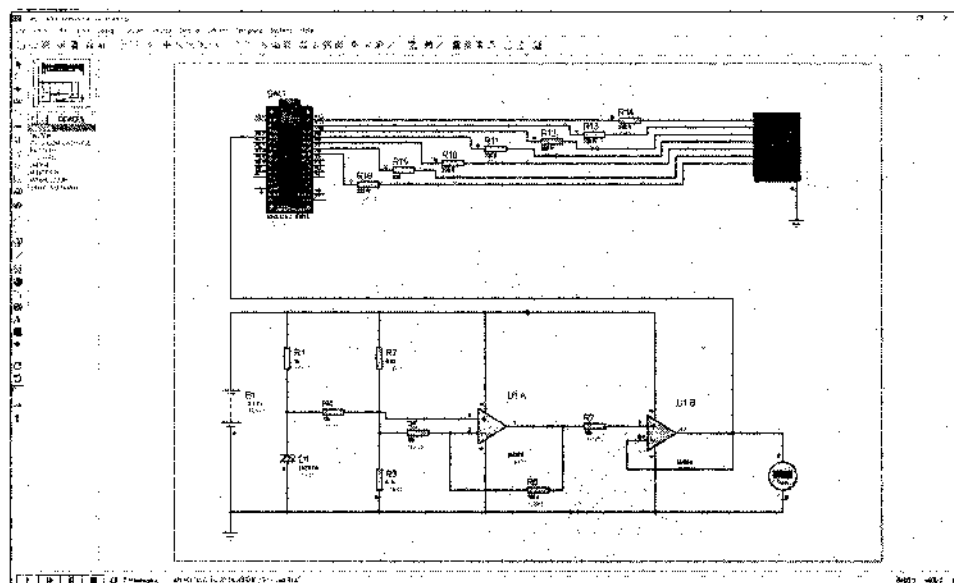


Рис. 19.8. Схема с модулем Arduino и семисегментным индикатором

Соответствие напряжений на аккумуляторе и значений АЦП

Таблица 19.3

Степень заряженности аккумулятора, %	Напряжение на клеммах аккумулятора, В	Значение на выходе АЦП
100	12,71	218
80	12,47	585
60	12,29	810
40	12,13	930
20	11,99	1023

У меня индикатор не с общим катодом, который использовался ранее, а с общим анодом. Что потребует некоторой переделки программы (замены всех HIGH на LOW) и схемы. Программа выглядит так:

```

intsensorPin = A0; // вход АЦП
intledPinA = 12; // Сегменты индикатора и выводы Arduino
int ledPinB = 11;
int ledPinC = 10;
int ledPinD = 9;
int ledPinE = 8;
int ledPinF = 7;
int ledPinG = 6;
intsensorValue = 0; // прочитанное значение напряжения
void setup() {
  pinMode(ledPinA, OUTPUT);
  pinMode(ledPinB, OUTPUT);
  pinMode(ledPinC, OUTPUT);

```

```
pinMode(ledPinD, OUTPUT);
pinMode(ledPinE, OUTPUT);
pinMode(ledPinF, OUTPUT);
pinMode(ledPinG, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  sensorValue = analogRead(sensorPin);
  // считываем напряжение
  Serial.println(sensorValue);
  if (sensorValue>980) { // заряд аккумулятора 20%
    digitalWrite(ledPinA, LOW);
    digitalWrite(ledPinB, LOW);
    digitalWrite(ledPinC, HIGH);
    digitalWrite(ledPinD, LOW);
    digitalWrite(ledPinE, LOW);
    digitalWrite(ledPinF, HIGH);
    digitalWrite(ledPinG, LOW);
  }
  else if ((sensorValue<=980)&&(sensorValue>850)) {
    // заряд 40%
    digitalWrite(ledPinA, HIGH);
    digitalWrite(ledPinB, LOW);
    digitalWrite(ledPinC, LOW);
    digitalWrite(ledPinD, HIGH);
    digitalWrite(ledPinE, HIGH);
    digitalWrite(ledPinF, LOW);
    digitalWrite(ledPinG, LOW);
  }
  else if ((sensorValue<=850)&&(sensorValue>650)) {
    // заряд 60%
    digitalWrite(ledPinA, LOW);
    digitalWrite(ledPinB, HIGH);
    digitalWrite(ledPinC, LOW);
    digitalWrite(ledPinD, LOW);
    digitalWrite(ledPinE, LOW);
    digitalWrite(ledPinF, LOW);
    digitalWrite(ledPinG, LOW);
  }
  else if ((sensorValue<=650)&&(sensorValue>250)) {
    // заряд 80%
    digitalWrite(ledPinA, LOW);
    digitalWrite(ledPinB, LOW);
    digitalWrite(ledPinC, LOW);
    digitalWrite(ledPinD, LOW);
    digitalWrite(ledPinE, LOW);
    digitalWrite(ledPinF, LOW);
    digitalWrite(ledPinG, LOW);
  }
}
```



```

else if (sensorValue<=250) { // заряд 100%
digitalWrite(ledPinA, LOW);
digitalWrite(ledPinB, HIGH);
digitalWrite(ledPinC, HIGH);
digitalWrite(ledPinD, HIGH);
digitalWrite(ledPinE, LOW);
digitalWrite(ledPinF, LOW);
digitalWrite(ledPinG, LOW);
}
delay(100);
}

```

Программа имеет и отладочные строки, которые не мешают ей работать в окончательном варианте. Небольшие изменения потребуются в схеме (рис. 19.9).

В реальном устройстве напряжение питания индикатора будет соединено с питающим напряжением модуля Arduino.

Ранее рассматривался индикатор с общим катодом, сейчас мы рассматриваем работу индикатора с общим анодом.

**Радиолюбитель: В чем разница?**

В первую очередь, в подключении, но и назначение выводов индикатора тоже изменилось. Повторим одну из таблиц, заменив номера выводов индикатора (табл. 19.4).

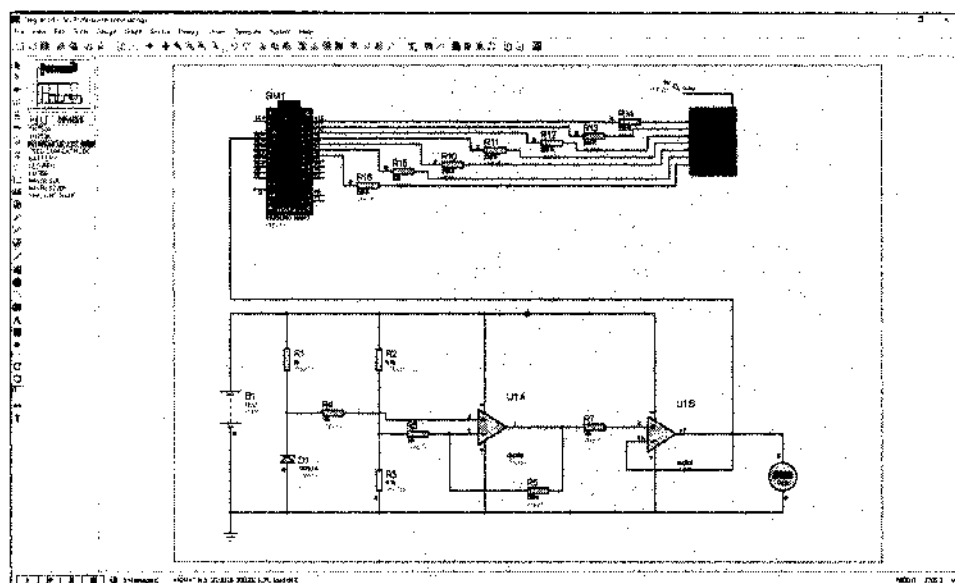


Рис. 19.9. Изменение схемы при использовании другого индикатора

Соответствие сегментов индикатора и выводов

Таблица 19.4

Сегменты индикатора	Выводы микросхемы	Выводы Arduino
A	1	12
B	13	11
C	10	10
D	8	9
E	7	8
F	2	7
G	11	6

Для реального макетирования устройство удобно использовать беспаечную макетную плату. Все соединения выполняются либо покупными проводами с соединительными наконечниками, либо можно использовать одножильные проводники от сетевого компьютерного кабеля. Проводники разноцветные, зачистив их на 0,5–0,7 см, можно без сомнений использовать их для сборки макета.

Предварительно полезно будет составить и еще одну таблицу (табл. 19.5).

Общая таблица для макетирования

Таблица 19.5

Цифра индикации	Сегменты индикатора	Выводы Arduino	Напряжение, В
2 (20%)	A, B, D, E, G	12, 11, 6, 8, 9	11,99
4 (40%)	B, C, F, G	11, 10, 7, 6	12,13
6 (60%)	A, C, D, E, F, G	12, 10, 9, 8, 7, 6	12,29
8 (80%)	A, B, C, D, E, F, G	12, 11, 10, 9, 8, 7, 6	12,47
F (100%)	A, E, F, G	12, 8, 7, 6	12,71

Используя обе таблицы, можно проверить работу прототипа (рис. 19.10). Составим спецификацию (табл. 19.6).

Стоимость решения с Arduino и семисегментным индикатором

Таблица 19.6

Компонент	Количество	Стоимость, руб.
Резистор 0,25 Вт, 1%	7	7×2 = 14
Стабилитрон КС156А	1	79
Штекер	1	57
Микросхема LM358	1	50
Модуль Arduino	1	650
Семисегментный индикатор	1	100 (АЛС32461)
Стабилизатор KP142ЕН5А	1	50
Подстроечный резистор 2 кОм	1	58
Плата для монтажа	1	79
Коробка	1	420

Итого: 1557 руб.



ставлять, что такое резистор, конденсатор, индуктивность. Более того, вам желательно ясно понимать закон Ома и правила Кирхгофа. Вам нужно иметь представление о том, как усиливают (и что усиливают) активные элементы электрической схемы. Вам следует иметь представление об аналоговой и цифровой технике.

Прежде, чем начать заниматься созданием устройств, очень полезно было бы провести подготовительную работу, используя макетную плату или программу моделирования. Еще лучше использовать и то, и другое. Рассмотрим пример такой подготовки. Начнем с теории.

Разделим ток в электрической схеме на постоянный ток и переменный ток. Первый, протекая по электрической цепи, не меняет ни направления, ни величины. Ток в электрической цепи протекает под действием электродвижущей силы. Эту силу имеет, например, батарейка или блок питания.

Закон Ома связан с измерением напряжения и тока на элементах электрической цепи:

$$U=I \times R.$$

То есть, падение напряжения равно току, умноженному на сопротивление. Иными словами, ток, протекая через сопротивление, а любой элемент электрической цепи сопротивляется протеканию электрического тока, меняет значение напряжения, создаваемое ЭДС (электродвижущая сила). Вот схема такого опыта (рис. 19.12).

Приборы Pr1 и Pr2 — это вольтметры, измеряющие напряжение. При проведении опыта на макетной плате вы, скорее всего, проведете два измерения напряжения мультиметром.

Pr1 измеряет напряжение батарейки (ЭДС), скажем, «Крона», которое равно 9 вольт. После протекания тока через резистор R1 напряжение стало равно 4,5 вольт. А разница  $9 - 4,5 = 4,5$  (вольт) и будет падением напряжения на резисторе R1. Мультиметром можно измерить падение напряжения на резисторах, подключаясь к этим резисторам в режиме измерения напряжения.

Сопротивление измеряется в омах, часто используют единицы в 1000 раз больше, килоомы. В данном случае  $R1 = 1 \text{ кОм}$ .

Определим ток, протекающий через резистор R1:  $U_{r1}/R1 = I$ , то есть,  $4,5/1000 = 0,0045 \text{ (А)}$ . Ток (более точно сила тока) измеряется в амперах, часто используют единицы в 1000 раз меньше — миллиамперы. Мы получили, что ток 45 мА.

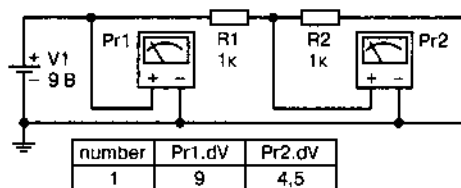


Рис. 19.12. Падение напряжения на сопротивлении

Падение напряжения на резисторе R2 можно получить, руководствуясь здравым смыслом: сопротивления равны, скорее всего, и падения напряжения равны.

Пользуясь полученным результатом, обратимся к одному из **правил Кирхгофа**: *сумма падений напряжений в замкнутом контуре равна ЭДС*. Речь идет об алгебраической сумме, но в данном случае, сложив падения напряжения, мы получим напряжение батарейки:

$$4,5 + 4,5 = 9 \text{ (вольт)}.$$

Если вы откроете любую реальную электрическую схему, вы обнаружите, что ток, протекая по элементам схемы, часто ветвится. Проведем такой эксперимент (рис. 19.13).

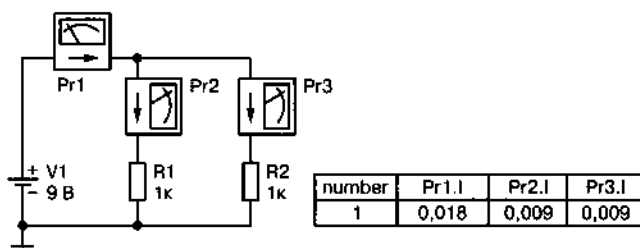


Рис. 19.13. Разветвление тока в электрической цепи

В этом опыте Pr1, Pr2 и Pr3 — амперметры, измерители тока. Ток, втекающий в точку ветвления (точку соединения резисторов R1 и R2), равен 18 мА (миллиампер). Ток, протекающий в каждой ветви 9 мА. И мы получим другое правило Кирхгофа: *сумма токов, вытекающих из узла, равна току, втекающему в узел ветвления*. И еще, увеличим сопротивление R2 (рис. 19.14).

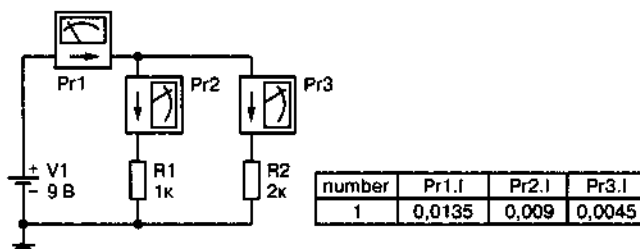


Рис. 19.14. Токи в ветвях при разных сопротивлениях

Токи в ветвях зависят от величины сопротивлений в ветвях, но их сумма:  $9 + 4,5 = 13,5$  (мА), — остается прежней, и, наконец, вытекающий из узла ток равен сумме втекающих токов.

Заметьте, что ток в ветви тем меньше, чем больше сопротивление ветви. Для определения результирующего сопротивления параллель-

ных ветвей удобно использовать величину обратную сопротивлению, которая называется проводимостью:

$$G = 1/R_{\text{рез}} = 1/R_1 + 1/R_2.$$

Проверим это:

$$1/R_{\text{рез}} = 1/1000 + 1/2000 = 0,0015$$

А сопротивление:

$$R_{\text{рез}} = 1/0,0015 = 666,66 \text{ (Ом)}$$

При ЭДС = 9 В ток будет равен:

$$9/666,66 = 0,0135 \text{ (А)}.$$

Формулу сложения проводимостей удобно использовать для нескольких сопротивлений, а для двух сопротивлений можно из этой формулы легко вывести более удобную:

$$R_{\text{рез}} = R_1 \times R_2 / (R_1 + R_2)$$

При соединении резисторов последовательно, понятно, результирующее сопротивление будет равно сумме всех сопротивлений.

**Радиолюбитель:** *Мы провели опыты на постоянном токе. А что с переменным током?*

## И что же с переменным током...

Напомню, что переменным ток считается тогда, когда он меняет направление или величину, или и то, и другое. Почему так важно помнить про изменение величины тока (или напряжения)? Я воспользуюсь другой программой моделирования, чтобы пояснить, о чем идет речь (рис. 19.15).

Схема простая — через кнопку подключен резистор. Нажав кнопку несколько раз, я получу то, что изображено на экране осциллографа. А это, вы согласитесь, импульсное напряжение, то есть, переменное напряжение. В схеме нет явного источника переменного напряжения, а переменное напряжение есть.

**Радиолюбитель:** *Почему вы уделили этому столько внимания?*

Все знают, что конденсатор, имеющий две металлические пластины, разделенные диэлектриком, не проводит постоянный ток. Но вот схема, где выключатель замыкает цепь, а на экране осциллографа (на диаграмме) мы увидим ток, протекающий через конденсатор (рис. 19.16). На схеме Pr1 — это измеритель тока, амперметр. Прибор Pr2 — это вольтметр, показывающий, как меняется напряжение на конденсаторе.

Да, конденсатор не пропускает постоянный ток, но он реагирует на изменение напряжения, пропуская ток тогда, когда напряжение меняется. Мы можем заменить батарейку источником импульсного

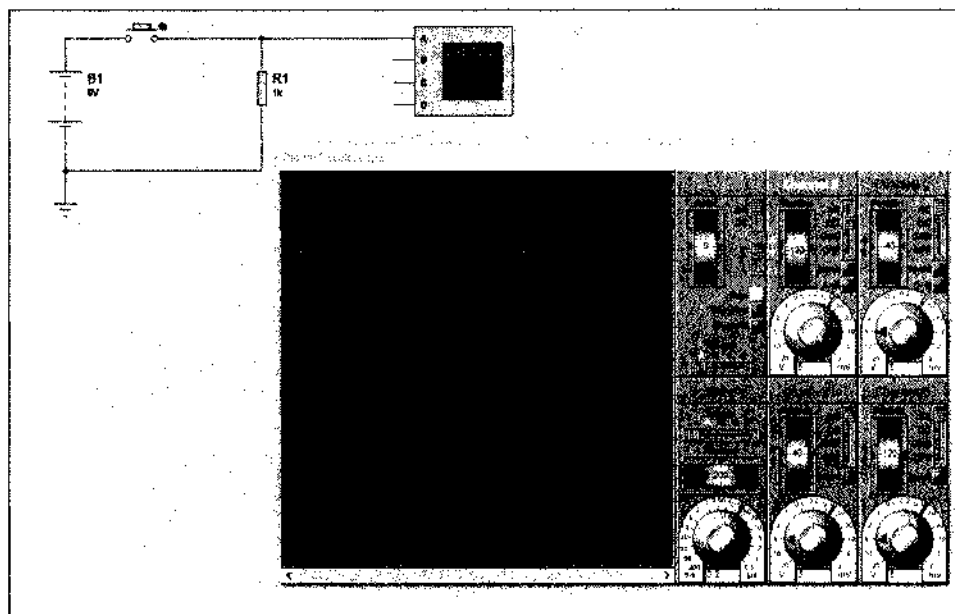


Рис. 19.15. Схема получения переменного напряжения

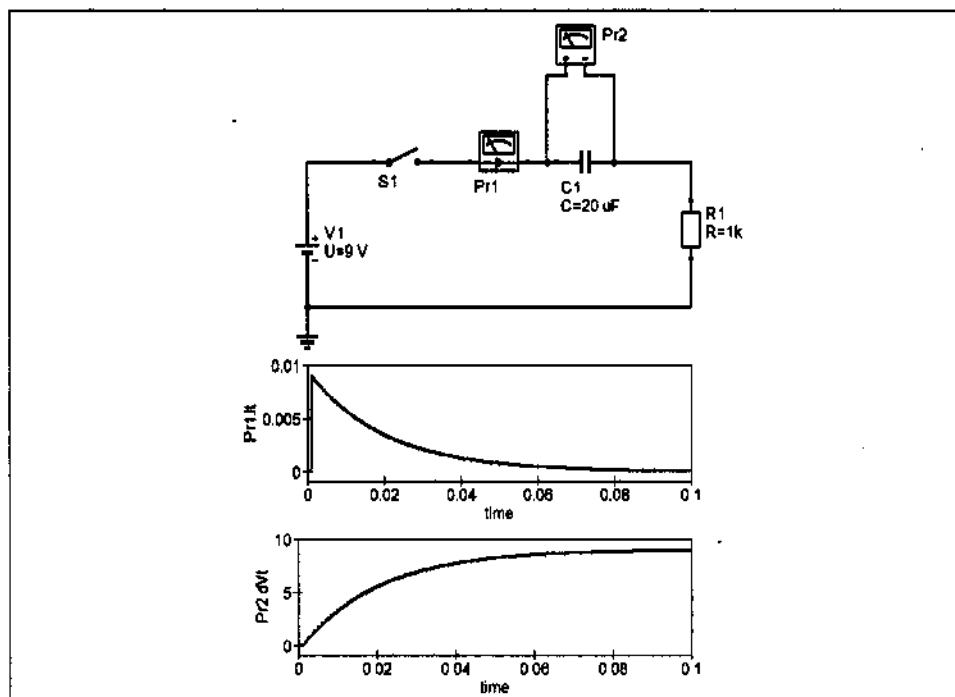


Рис. 19.16. Протекание тока через конденсатор

напряжения (похожего на то, что мы видели на рис. 19.15), чтобы убедиться, переменный ток проходит через конденсатор (рис. 19.17). Хотя на схеме Pr1 — вольтметр, программа моделирования позволяет считать его «щупом осциллографа», показывая на диаграмме результат измерения.

Как и резистор, конденсатор оказывает сопротивление току, но это сопротивление называют реактивным, поскольку ток обусловлен реакцией конденсатора на изменение напряжения, и его величина зависит от частоты переменного напряжения и емкости конденсатора:

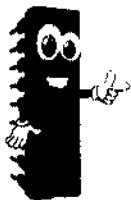
$$X_C = 1/2\pi fC$$

Аналогичным реактивным сопротивлением обладает и индуктивность, но величина его иная:

$$X_L = 2\pi fL$$

В формулах емкость в фарадах, индуктивность в генри.

Но для нас сейчас важно другое — для сопротивления конденсатора или индуктивности на переменном токе мы можем пользоваться законом Ома и правилами Кирхгофа. Значение переменного напряжения и тока принимаются действующими, то есть, такими, которые оказывают такое же действие, как постоянное напряжение (или ток) такой же величины. Приведу пример.



### ПРИМЕР.

Электрическая лампочка, подключенная к бытовой сети ~220 В, будет гореть одинаково и при действующем переменном напряжении ~220 В (которое мы измеряем мультиметром), и при постоянном напряжении 220 В.

Подключив генератор синусоидального напряжения к цепи из конденсатора и резистора, измеряем падение напряжения на конденсаторе и ток в цепи (рис. 19.18).

Воспользуемся законом Ома для определения сопротивления конденсатора:

$$R_{\text{контд}} = U/I = 2,05/0,00145 = 1414 \text{ (Ом)}.$$

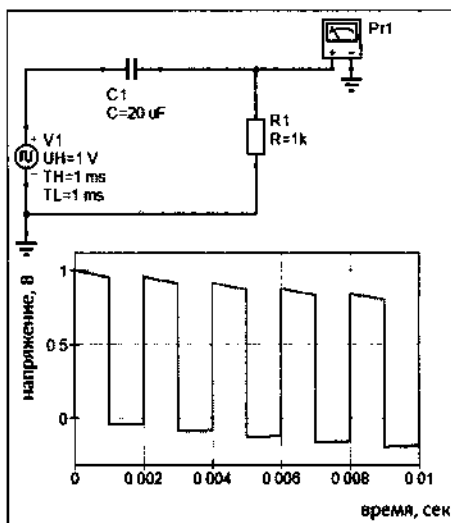


Рис. 19.17. Переменный ток, проходящий через конденсатор



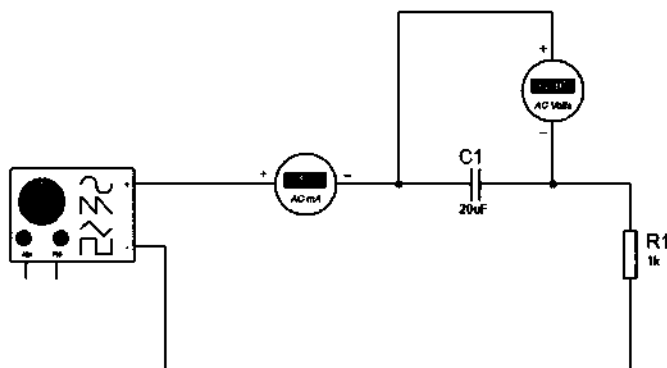


Рис. 19.18. Измерение переменного напряжения и тока

Но реактивные сопротивления, конденсатора и индуктивности, имеют одну особенность: если для обычного резистора в любой момент времени действия переменного напряжения можно определить сопротивление, разделив падение напряжения на нем на ток через него, то для реактивного сопротивления это не совсем так. Вернемся к рис. 19.16.

При максимальном значении тока (диаграмма для Pr1) падение напряжения на конденсаторе (диаграмма для Pr2) минимально. Говорят, что ток и напряжение не совпадают по фазе. Этим свойством реактивных сопротивлений часто пользуются при создании некоторых электронных устройств.

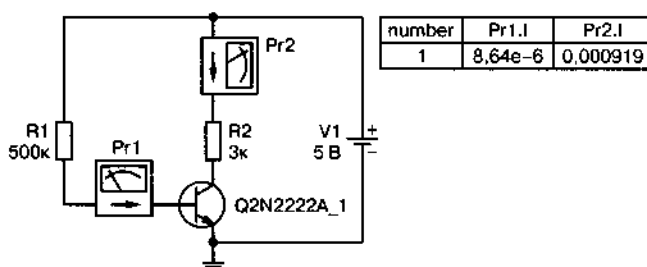
## Вновь о фазовых соотношениях

Значение фазовых соотношений напряжений в схеме важно еще в одном случае. Активными элементами схем можно считать транзисторы и операционные усилители, которые усиливают переменное напряжение (переменный ток). У биполярного транзистора, а есть еще и полевые транзисторы, есть свойство: в статическом режиме ток коллектора в  $V_{ст}$  раз больше тока базы, где  $V_{ст}$  — это число, коэффициент, связывающий ток коллектора и ток базы.

На рис.19.19 показана типичная схема включения биполярного транзистора с общим эмиттером. Разделив ток коллектора (Pr2) на ток базы (Pr1), мы получим:

$$V_{ст} = 919 \text{ (мкА)} / 8,64 \text{ (мкА)} = 106$$

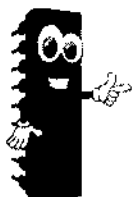
Но не только для постоянного тока справедливо это соотношение, а и для изменения тока базы изменение тока коллектора связано анало-



**Рис. 19.19.** Измерение статического коэффициента усиления по току в схеме с общим эмиттером

гично, и в достаточно широком диапазоне значений закон изменения тока коллектора повторяет закон изменения тока базы. Другими словами — ток базы усиливается транзистором (можно сказать, что усиливается напряжение на базе), сохраняя закон изменения тока.

Вместе с тем, когда напряжение на базе максимально, напряжение на коллекторе — минимально. То есть, напряжение на коллекторе находится в противофазе с напряжением на базе. Если теперь часть напряжения с коллектора подать на базу, то тем самым мы осуществим отрицательную обратную связь (связь между выходом и входом усилительного элемента).



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Отрицательная обратная связь улучшает ряд параметров усилительного каскада (или нескольких каскадов). А положительная обратная связь, когда часть выходного напряжения находится в фазе с входным напряжением, превращает усилитель в генератор.*

Переменное напряжение, изменяющееся по определенному закону, называют **сигналом**, подразумевая, что сигнал несет определенную информацию. Для налаживания электронных устройств используют генераторы сигналов разной формы: синусоидальной, треугольной, прямоугольной (импульсные генераторы).

Обращаясь к конкретным схемам, рассмотренным в **главе 18**, можно сказать, что в основе измерения лежит простое устройство из четырех элементов, включенных в кольцо. Если бы на месте стабилитрона был резистор, а все резисторы имели сопротивление «своего визави». Если бы это были идеальные резисторы, то после подключения батарейки к одной диагонали, в другой диагонали напряжение и ток были бы равны нулю.

Вместо одного из резисторов мы использовали элемент (стабилитрон), падение напряжения на котором постоянно в широких пределах изменения напряжения в другой диагонали моста (так называется включение элементов). Сбалансировав напряжение в измерительной диагонали моста (напряжение близкое к нулю), мы получим нужное нам изменение этого напряжения при изменении напряжения источника тока.



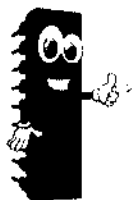
#### ЧТО ЕСТЬ ЧТО.

***Стабилитрон** – это разновидность диода, у которого при протекании обратного тока падение напряжение достаточно стабильно при изменении тока.*

Не вдаваясь в детали, скажем, что использование стрелочного индикатора пока требует только знания того, что микроамперметр, который мы использовали, показывает величину тока, возникающего под действием напряжения, приложенного к микроамперметру.

Использование линейного светодиодного индикатора, микросхемы, обслуживающей его, и операционного усилителя в модификации схемы пока требуют только знания того, что такие компоненты существуют, и знания того, как они реагируют на напряжение на входе.

Относительно микроконтроллеров мы уже говорили, а сейчас осталось только упомянуть программы моделирования. Они очень полезны на этапе «придумывания» своих устройств, поскольку позволяют быстро переделать схему, не рискуя вывести из строя компоненты.



#### СОВЕТ.

*О разных программах моделирования вы можете прочитать в рассказах на моем сайте и в моих книгах, выпущенных издательством «Наука и Техника».*

# ОХРАННОЕ УСТРОЙСТВО

## Простейшее охранное устройство

Охрана чего-либо эффективна тогда, когда она осуществляется хорошими специальными подразделениями полиции или частными охранными фирмами. Обычно такой подход сопровождается условием, что закупку оборудования и его монтаж осуществляет тот, кто несет ответственность за охраняемый объект.

Вместе с тем, создание собственных охранных устройств любителями оказывается полезным в части практики и приобретения опыта. А начинается создание такого устройства с постановки задачи. Согласитесь, что охранять двух- или трехэтажный «домик в деревне» это одна задача, а охрана велосипеда, который вы оставляете на лестнице, требует совсем другого подхода.

В первую очередь, следует определить, что и от чего требуется охранять. В этом смысле можно разделить устройства охраны на три типа:

- ♦ защита от кражи и порчи имущества;
- ♦ защита от пожара;
- ♦ защита от наводнения.

В любом случае потребуется датчик и «тревожный сигнализатор».

Схемы любительских охранных устройств существуют во множестве, поскольку существуют давно, многократно совершенствовались и приспособлялись к разным житейским ситуациям. Изобретать что-то свое совсем не обязательно — достаточно ввести в поисковую систему фразу «любительское охранное устройство», чтобы начать выбор устройства на свой вкус.

Тем не менее... Выберем самый простой вариант охранного устройства: датчик контактный, сигнализатор звуковой, более того, готовый (рис. 20.1).

**chipdip.**

Поиск товаров

Найти

Каталог товаров > Главная > Электронные компоненты > Акустика > Излучатели звука > JL World > HCM1201X, 12 мм, Генератор звука со встроенной схемой

### HCM1201X, 12 мм, Генератор звука со встроенной схемой

Артикул: HCM1201X, 12 мм  
PartNumber: HCM1201X  
Ком. номер: 31820  
Производитель: JL World

**70 руб.**

1971 шт. со склада в Москве  
от 140 шт. — 60 руб.  
от 1500 шт. — 52 руб.

Добавить в корзину 1 шт. на сумму 70 руб.

В корзину

Описание
Сроки доставки
Цена и наличие в магазинах

- Электромеханический излучатель звука применяется в компьютерной графике, среднетех. классных аппаратах, карманных и бытовой аппаратуре.
- Переносный корпус.
- Широкие возможности провода или резания

Рис. 20.1. Удобный звуковой сигнализатор

Эта модель удобна тем, что для подачи звукового сигнала достаточно подать постоянное напряжение 1,5 В на выводы излучателя. При этом максимальный потребляемый ток не больше 20 мА.

Но выбор излучателей звука большой, вы можете остановиться на другой модели, или можете собрать другую схему поддержки сигнализации. Все зависит от ваших предпочтений, а более всего зависит от назначения устройства.

Если использовать в качестве датчика контакты на замыкание, например, герконовые контакты, есть модель, имеющая контакты на замыкание (рис. 20.2), то достаточно дополнить устройство общим выключателем и батареей.

Электрическая схема очень проста (рис. 20.3).

**chipdip.**

Поиск товаров

Найти

Каталог товаров > Главная > Компоненты радиоэлектронных устройств > Реле > Герконы > MKC-17103 A (КЭМ-3 А), Геркон переключающий 1А/127В 30...100 А

### MKC-17103 A (КЭМ-3 А), Геркон переключающий 1А/127В 30...100 А

Артикул: MKC-17103 A (КЭМ-3 А)  
PartNumber: MKC-17103 A  
Ком. номер: 31277  
Производитель: Пятигорский фэд  
металлоуправляемый прибор

**140 руб.**

211 шт. со склада в Москве  
от 100 шт. — 130 руб.  
от 1000 шт. — по запросу

Добавить в корзину 1 шт. на сумму 140 руб.

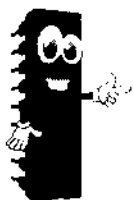
В корзину

Описание
Сроки доставки
Цена и наличие в магазинах

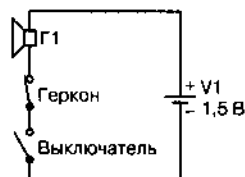
Магнитоуправляемый контакт (геркон) представляет собой электрический аппарат изменяющий состояние электрической цепи посредством механического размыкания или замыкания ее при воздействии управляющего магнитного поля на его элементы, совмещающие функции контактов, пружин и участка электропроводящих магнитных цепей.

Принцип действия герконов основан на использовании сил взаимодействия, возникающих в магнитном поле между ферромагнитными телами. При этом силы вызывают деформацию и перемещение ферромагнитных токопроводящих элементов.

Рис. 20.2. Геркон с переключающими контактами

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

*Используются контакты геркона, которые разомкнуты при рядом расположенном магните.*



**Рис. 20.3.**  
Электрическая  
схема одного  
из простейших  
устройств охраны

Реализация схемы может выглядеть для случая защиты двери от вторжения так: на двери крепится магнит, рядом коробочка с устройством (или наоборот, как удобнее). Если кто-то открывает дверь без вашего ведома, вы услышите звук сигнализатора.

Аналогичную конструкцию можно применить для охраны велосипеда на лестнице, закрепив на велосипеде либо магнит, либо само устройство. Стоимость такого решения 460 руб. (табл. 20.1).

Стоимость такого решения

Таблица 20.1

№	Наименование компонента	Цена, руб.
1	Звуковой излучатель КЭМЗ-А	70
2	Геркон	140
3	Выключатель МТS-201 А-2	50
4	Батарейка с держателем FC1-5103	90
5	Корпус пластиковый	110

**Итого:** 460 руб.

## Модернизация простейшего охранного устройства

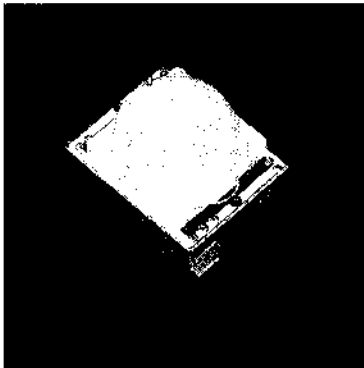
**Радиолюбитель:** *Крепить охранное устройство на двери не всегда удобно. Что можно предложить взамен?*

Оптимально использовать датчик движения вместо геркона. Такое устройство можно закрепить рядом с дверью в удобном месте. Сегодня простой датчик движения стоит не так дорого, как это было раньше (рис. 20.4).

Датчик может питаться от источника постоянного напряжения от 5 до 20 вольт. Есть подстройки:

- можно изменить время ожидания, подстроить чувствительность;
- можно выбрать режим работы с однократным срабатыванием и многократным.

Перед тем, как монтировать устройство, можно проверить его работу и постараться настроить датчик. Что, впрочем, требует терпе-



1 шт. Высокое качество HC-SR501 HC-SR501 Регулируйте инфракрасный движение PIR Сенсор детектор модуль для Arduino Uno


4.9 (7 отзывов) 5.0 (1 отзыв)

★★★★★ 4.9. 385 Отзывов (854 заказов)

**49,86 руб.** С доставкой

30 шт. в упаковке

Выход  
GND + Питание



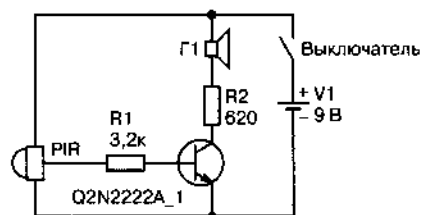
Переключатель:  
H: Постоянно  
L: Один раз

Подстройка чувствительности      Подстройка задержки

**Рис. 20.4.** Простой датчик движения

ния — при малейшем движении он может срабатывать, приходится ждать его выключения.

Если для охраны сложных объектов применение этого датчика, скажем, под вопросом, то для любительских целей он прекрасно подходит благодаря дешевизне, в первую очередь.



**Рис. 20.5.** Схема устройства с датчиком движения

В режиме ожидания потребление небольшое, что позволяет в качестве источника питания использовать, например, батарейку «Крона». Схему простейшего охранного устройства в этом случае можно модернизировать (рис. 20.5).

Транзистор допускается заменить любым аналогом, поскольку его назначение — предохранить выход датчика движения от перегрузки. А резистор R2, возможно, потребуется «подстроить», чтобы напряжение на излучателе Г1 было при срабатывании датчика 1,5 В при приемлемой громкости сигнала тревоги. Сам датчик движения настраивается с помощью переключателя, «джампера», и подстроечных резисторов.

Стоимость устройства с датчиком движения

Таблица 20.2

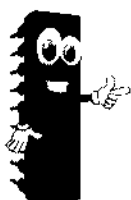
№	Наименование компонента	Цена, руб.
1	Звуковой излучатель КЭМЗ-А	70
2	Датчик движения	50
3	Выключатель MTS-201 A-2	50
4	Батарейка с колодкой KLS5-BC9V-01 (FC1-5340)	81
5	Корпус пластиковый	110
6	Резистор 0,25 Вт	2×2

**Итого:** 365 руб.

## Усложнение конструкции и повод для этого

Положим, что вы хотите защитить от проникновения не только дверь, но и окно, расположенное далеко от двери. Можно сделать два устройства по схемам, предложенным выше. Но можно использовать способность микроконтроллера обслуживать несколько датчиков одновременно.

Разберем такой вариант устройства с двумя датчиками движения, используя модуль Arduino Uno.



### СОВЕТ.

*Лучше выбрать Arduino Nano, что не исключает возможности использования других модулей или микроконтроллеров.*

Входы микроконтроллеров предлагаю настроить и на ввод, и на вывод данных:

- ♦ к выводам, что настроены на вход, подключаются датчики;
- ♦ к выводам, настроенным на выход, подключаются устройства тревожной сигнализации.

В качестве датчиков используем два датчика движения, а для сигнализации используем излучатель и реле, включающее свет.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Реализовать программу для устройства можно с использованием бесплатной среды разработки Arduino, но такой вариант мы уже рассматривали, поэтому я хочу представить, да платную, но удобную программу Flowcode.*

Рассказывая о шестой версии программы, когда она была доступна в пробном режиме, я сделал заготовку, которая вполне подойдет к данному случаю.

**Радиолобитель:** *Чем же интересна программа Flowcode?*

Она позволяет сосредоточить свое внимание не на коде, что важно, но бесполезно, если вы не понимаете сути, а сосредоточиться на сути того, что должен сделать микроконтроллер. Версия Flowcode 6 поддерживает работу с модулем Arduino Uno, который мы используем «для разнообразия». А если серьезно, то для того, чтобы показать — создание кода для разных модулей Arduino имеет не так много отличий.



Итак. Микроконтроллеры, как правило, работают в режиме бесконечного цикла, то есть, бесконечного повтора программы. Поэтому начинать построение программы лучше с добавления компонента цикл *while*. В этом цикле мы будем опрашивать датчики движения. Для этого создадим две переменные *mv1* и *mv2*, куда и будем записывать состояние датчиков, но начнем с добавления компонентов программы *Input*, ввод. И есть еще одна неприятность — у модуля обозначены выводы гребенки, а не выводы микроконтроллера, а программа Flowcode работает с микроконтроллером, используя его выводы.



С этой неприятностью поможет справиться этот сайт.

На сайте при желании вы можете прочитать много интересного не только про Arduino, но и про другие полезные модули.



Для нашей цели используем цифровые выводы модуля 2, 3, 4 и 5 — первые два для входа, последние используем для выхода. Таким образом, мы используем для входа PD2 и PD3, а для выхода PD4 и PD5 (рис. 20.6).

В среде разработки Arduino использование выводов на вход или на выход задается явно в разделе настроек. В данном случае об этом поза-

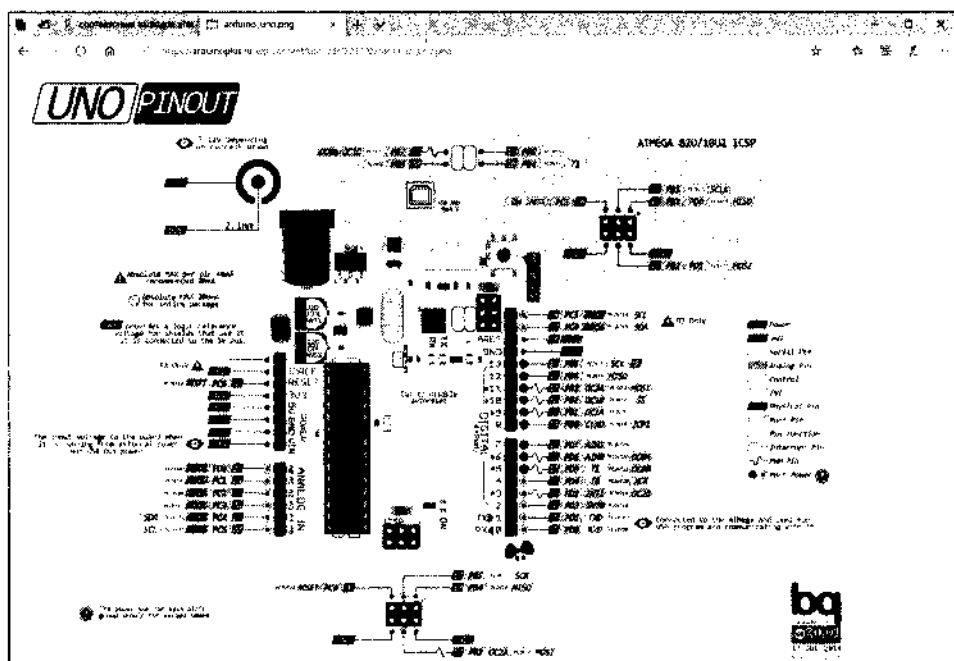


Рис. 20.6. Сайт с информацией о выводах Arduino

ботится сама программа Flowcode [17], когда мы выбираем компоненты *Input* или *Output*.

Программа с графическим языком программирования, вы можете сравнить с рядом примеров в справочных листках (datasheet), очень похожа на изображение алгоритма работы устройства, что и привлекает как наглядностью, так и лучшим пониманием, согласитесь, сути происходящего.

При добавлении компонентов ввода в диалоговом окне можно добавить переменные, выберем переменные булева типа, поскольку нам нужно определять два состояния — низкий уровень (ноль) и высокий уровень (единица). В качестве начального значения задаем ноль.

## Рассмотрим работу устройства

Как оно работает:

- ♦ если устройство работает в дежурном режиме, ничего делать не нужно;
- ♦ если состояние датчика изменилось (стало «1»), нужно включить два выхода (установить их в состояние высокого уровня).

Один выход подключит звуковой извещатель, а второй выход активизирует транзистор, к коллектору которого подключается реле, которое своими выводами включает, скажем, настольную лампу. Можно использовать и один выход, но разделение выходов может оказаться полезнее в дальнейшем.

Из описания работы устройства следует, что нам нужно добавить компонент программы, который называется *решение* (ветвление, *decision*). Мы используем это дважды, для каждого входа свое решение, что не обязательно. Используем компоненты выход, *Output*, для управления сигналами. Итогом станет такая программа (рис. 20.7).

Теперь, думаю, вы согласитесь, что программа, скорее, похожа на алго-

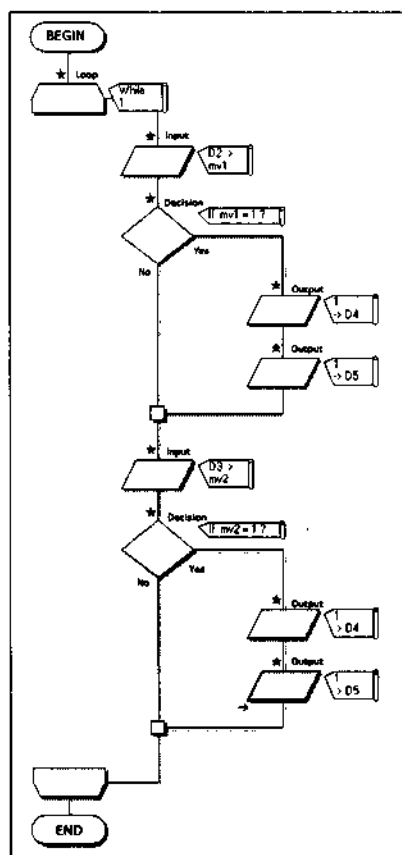


Рис. 20.7. Программа для устройства охраны в среде Flowcode

ритм — графическое изображение будущей программы. Понять этот рисунок легче, чем то, что написано на языке, например, Си:

```
int main()
{
    MCUSR=0x00;
    MCUSR=0x00;
    wdt_disable();
    // Name: Loop, Type: Loop: While 1
    while (1)
    {
        // Name: Input, Type: Input: D2 -> mv1
        FCV_MV1 = GET_PORT_PIN(D,2);
        // Name: Input, Type: Input: D3 -> mv2
        FCV_MV2 = GET_PORT_PIN(D,3);
        // Name: Decision, Type: Decision: mv1 = 1?
        if (FCV_MV1 == 1)
        {
            // Name: Output, Type: Output: 1 -> D4
            SET_PORT_PIN(D,4,(1));
            // Name: Output, Type: Output: 1 -> D5
            SET_PORT_PIN(D,5,(1));
        } else {
            // и т. д.
        }
    }
}
```

Еще менее наглядно программа выглядит на ассемблере:

```
90: 14 be      out    0x34, r1    ; 52
92: 14 be      out    0x34, r1    ; 52
94: 88 e1      ldi     r24, 0x18   ; 24
96: 0f b6      in     r0, 0x3f    ; 63
98: f8 94      cli
9a: 80 93 60 00 sts     0x0060, r24
9e: 10 92 60 00 sts     0x0060, r1
a2: 0f be      out    0x3f, r0    ; 63
a4: 52 98      cbi     0x0a, 2    ; 10
a6: 89 b1      in     r24, 0x09   ; 9
a8: 84 70      andi    r24, 0x04   ; 4
aa: 90 e0      ldi     r25, 0x00   ; 0
ac: 95 95      asr     r25
ae: 87 95      ror     r24
b0: 95 95      asr     r25
b2: 87 95      ror     r24
b4: 98 2f      mov     r25, r24
b6: 81 11      cpse    r24, r1
b8: 91 e0      ldi     r25, 0x01   ; 1
ba: 90 93 01 01 sts     0x0101, r25
be: 53 98      cbi     0x0a, 3    ; 10
c0: 89 b1      in     r24, 0x09   ; 9
c2: 88 70      andi    r24, 0x08   ; 8
```

Оба фрагмента, конечно, не полный код, а только малая его часть. И совсем код теряет наглядность в том виде, который больше понятен процессору:

```
C9434000C9446000C9446000C9446006A
C9446000C9446000C9446000C94460048
C9446000C9446000C9446000C94460038
C9446000C9446000C9446000C94460028
C9446000C9446000C9446000C94460018
C9446000C9446000C9446000C94460008
C9446000C94460011241FBECFEFD8E03C
DEBFCDBF11E0A0E0B1E001C01D92A23013
B107E1F70E9448000C947E000C94000038
```

После сборки программы ее можно загрузить в модуль Arduino и проверить. Опустив сейчас детали работы с программой Flowcode, я воспользуюсь тем, что могу использовать еще одну программу для проверки работы устройства (рис. 20.8).

### Зачем нам в этой схеме микроконтроллер

И теперь пора пояснить, какую выгоду мы получаем от использования микроконтроллера. Во-первых, сигнализация будет работать до тех пор, пока мы не отключим питание. Если так и надо, то править программу нет нужды. Но, если нам достаточно, чтобы извещение только

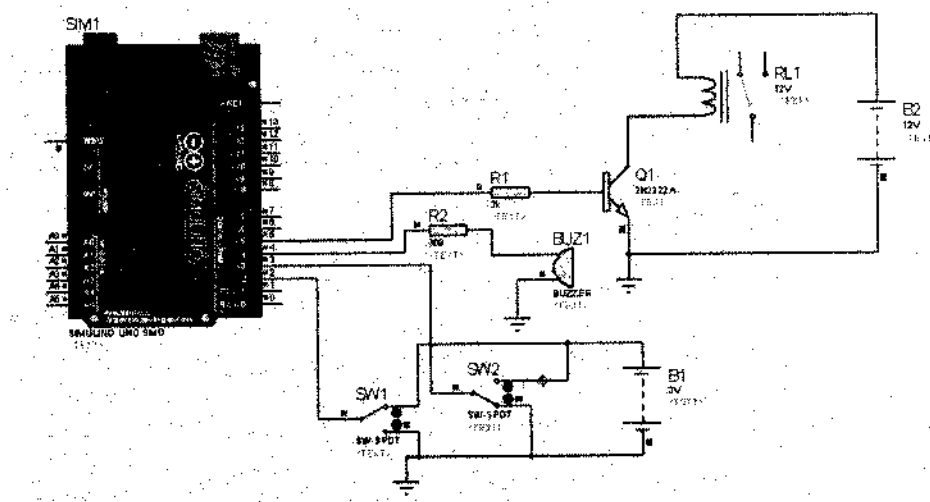


Рис. 20.8. Проверка работы программы в среде Proteus

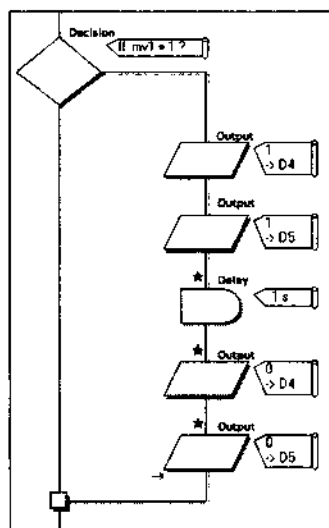


Рис. 20.9. Первая модификация программы

привлекло наше внимание, тогда сигнализацию следует отключить через какой-то промежуток времени. Микроконтроллер позволяет быстро переделать программу: достаточно в обе ветви программы добавить нужные паузы, после которых выключить выходы (рис. 20.9).

**Во-вторых**, любая сигнализация склонна временами допускать ложные срабатывания. Если вам не нравится просыпаться ночью из-за того, что кошка пробежала по комнате, то следует добавить в первое ветвление программы паузу, положим в минуту, и затем вновь проверить состояние датчиков, и, если датчики срабатывают, то включить тревогу. Обычно первые решения по устройству сигнализации нужно проверить, затем поправить, еще раз проверить, внести

окончательную правку, после чего собрать готовый вариант устройства. Микроконтроллер позволит внести много исправлений без изменения схемы. Ради этого и зашла речь о применении микроконтроллера. Компоненты схемы и их стоимость представлена в табл. 20.3.

Компоненты схемы и их стоимость

Таблица 20.3

№	Наименование компонента	Цена, руб.
1	Модуль Arduino Uno (Nano)	300
2	Звуковой излучатель КЭМ3-А	70
3	Датчик движения (2 шт.)	100
4	Выключатель МТС-201 А-2	50
5	Блок питания 12 В	500
6	Корпус пластиковый	300
7	Резисторы 0,25 Вт, 10%	6
8	Транзистор 2N2222А	5
9	Реле 12 В	180
10	Клеммы для подключения лампы	60

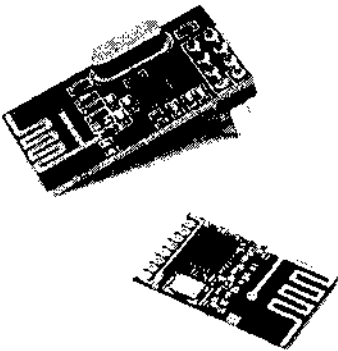
Итого: 1581 руб.

Если предыдущее устройство можно все-таки собрать без модуля Arduino и микроконтроллера, то реализовать устройство, передающее сигнал тревоги по радиоканалу, без микроконтроллера еще сложнее.

## Устройство для гаража, расположенного во дворе



Даже тогда, когда вы живете за городом в собственном доме, тянуть провода от гаража к жилым помещениям не всегда приемлемо. Лучше использовать радиоканал для связи устройства оповещения с устройством тревоги.

Есть много радио-модулей, работающих на разных частотах и с разными способами передачи данных. Однако самый простой способ прямой передачи сигнала на фиксированной частоте может оказаться непригоден из-за сильной «зашумленности» этой частоты. Поэтому для эксперимента выберем модуль nRF24L01 (рис. 20.10).



Беспроводной радиомодуль nRF24L01\*. Частота передачи: 2,4ГГц  
★★★★★ 4.9 - 675 Отзывов 1024 заказов

**50,48 - 56,96 руб.**

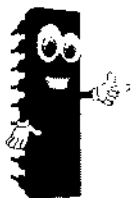
Цвет:  
 

Количество:  
1 +  Средняя цена: 54,11 руб.  
5075 шт. в корзине

**Бесплатная доставка в Russian Federation** через Cainiao Super Economy  
Расчетное время доставки: 16/09

Рис. 20.10. Модуль для радиосвязи nRF24L01

Преимущество модуля в наличии ряда каналов для связи. В среде разработки Arduino есть программа (в примерах, scanner), сканирующая состояние всех доступных каналов. Можно выбрать тот канал для связи, который менее всего зашумлен (рис. 20.11). Если не выполнить проверку до начала работы с модулем, можно оказаться в затруднительном положении. Из-за шума работа канала связи может оказаться нестабильной.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

С подключением nRF24L01 к Arduino нужно будет разобратся.

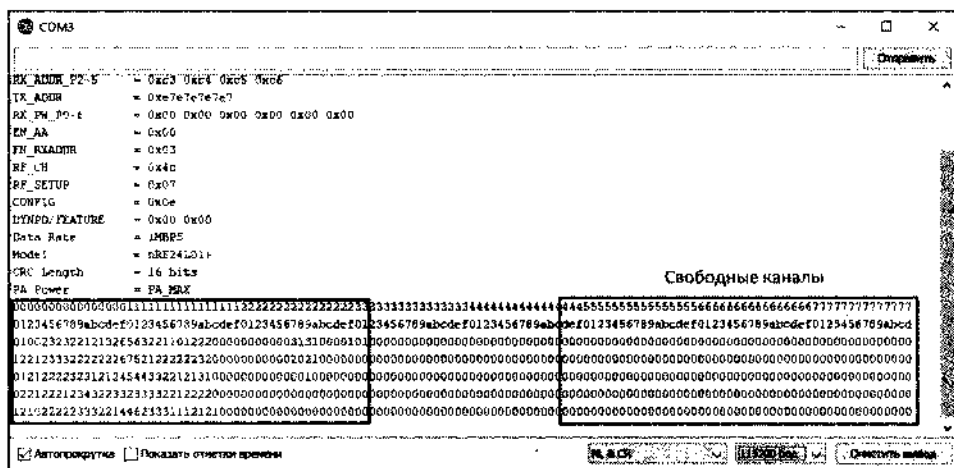


Рис. 20.11. Сканирование каналов связи модуля nRF24L01

Ранее, проводя опыты с модулем nRF24L01 в среде разработки Arduino, для которой нашлось две библиотеки функций, я столкнулся с рядом непонятных явлений, с которыми в полной мере не разобрался. Сейчас я хочу использовать программу Flowcode 8 (версия 8.0.0.6), пока есть такая возможность.

Любая программа требует некоторого времени для ее освоения, включая время на чтение руководства к ней, если руководство есть. Правда, чтение многостраничного текста на английском языке не всегда вызывает теплые чувства у радиолюбителей, поэтому можно руководствоваться примерами, обращаясь к руководству по мере возникновения вопросов. Однако, освоившись с программой, следует быть готовым к тому, что новая версия потребует новых усилий по освоению программы, в чем я убедился, используя Flowcode 8.

Первое, о чем следует упомянуть, это **работа с осциллографом**. Когда в программе появился осциллограф, я порадовался за разработчиков этой среды работы с микроконтроллерами — очень полезно временами посмотреть на экран осциллографа, чтобы видеть, как ведут себя сигналы. Но с первой попытки это не получилось. Сейчас, запустив программу Flowcode, я решил посмотреть, что с осциллографом. Оказалось, что он подключается к нужному выводу, хотя и показывает не совсем то, что я ожидал. Однако при повторном запуске программы осциллограф перестал показывать что-либо (рис. 20.12).

Если бы осциллограф не заработал в первый раз, я бы, скорее всего, не стал упорствовать. Но...

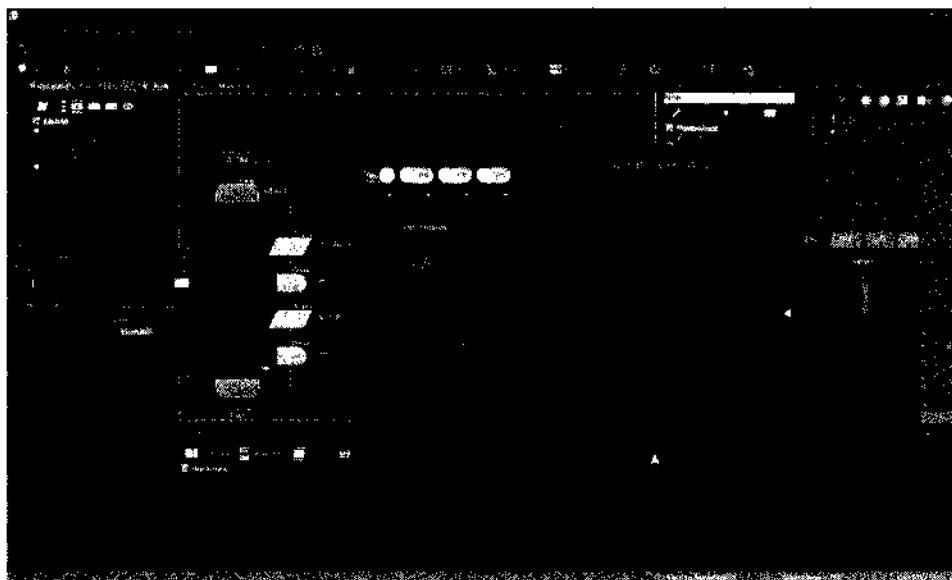


Рис. 20.12. Осциллограф в программе Flowcode 8

Поиск по форуму показал, что проблема решается обращением к меню (рис. 20.13):

*Debug → Ghost Option: иконка выбора режима, кнопка **Tick Used**, кнопка **OK**.*

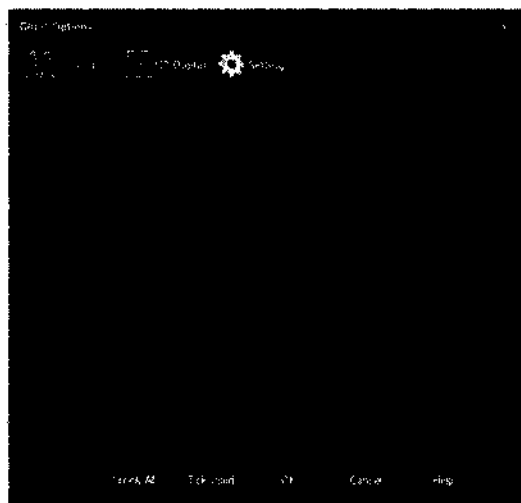
Когда постоянно работаешь в одной среде разработки, то даже переход к новой версии может, что называется, «выбивать из колеи». В этом смысле я понимаю тех разработчиков, что пользуются ассемблером, помнят не только все команды, но многие и шестнадцатеричные коды этих команд, знают все тонкости и ловушки, подстерегающие программистов при написании кода, и не любят переходить даже на язык Си.

## Чем интересны новые версии программ

Я не работаю постоянно с программой Flowcode, как не работаю постоянно ни с одной из программ, о которых пишу, но вижу существенный прогресс — появляются новые возможности, расширяется круг оборудования, для которого можно создавать программы. А создание программы на графическом языке существенно ускоряет и облегчает работу.

Свойство микроконтроллера быть программируемым радиоэлектронным компонентом подразумевает, что при его отладке обяза-





**Рис. 20.13.** Подключение осциллографа к программе

тельно наблюдение за регистрами, за переменными и т. д. Но в реальных устройствах микроконтроллер редко оказывается в «гордом одиночестве». Как правило, его окружают другие компоненты, чаще всего, попроще.

Очень часто микроконтроллер используют для формирования сигналов. Особенно это можно отнести к моделям, имеющим цифро-аналоговый преобразователь. Такую модель можно использовать даже для формирования музыкальных или речевых фрагментов.

При отладке подобных устройств незаменимым осциллограф. Удобный интерфейс осциллографа позволяет настроить его так, как вам будет удобно наблюдать сигналы (рис. 20.14).

Возвращаясь к нашему устройству, следует заметить, что оно превращается в два устройства:

- ♦ одно обслуживает датчик движения и передает сообщение по радиоканалу через nRF24L01;
- ♦ другое принимает сообщение с помощью модуля nRF24L01 и включает тревожное устройство.

Нам предстоит создать программы для двух Arduino Uno:

- ♦ первый модуль при появлении логической единицы на его входе отправит сообщение;
- ♦ второй модуль Arduino Uno примет сообщение и включит светодиод на выводе (гребенки) 13, который есть на плате.

**Радиолобитель:** Начнем мы с передачи сигнала?

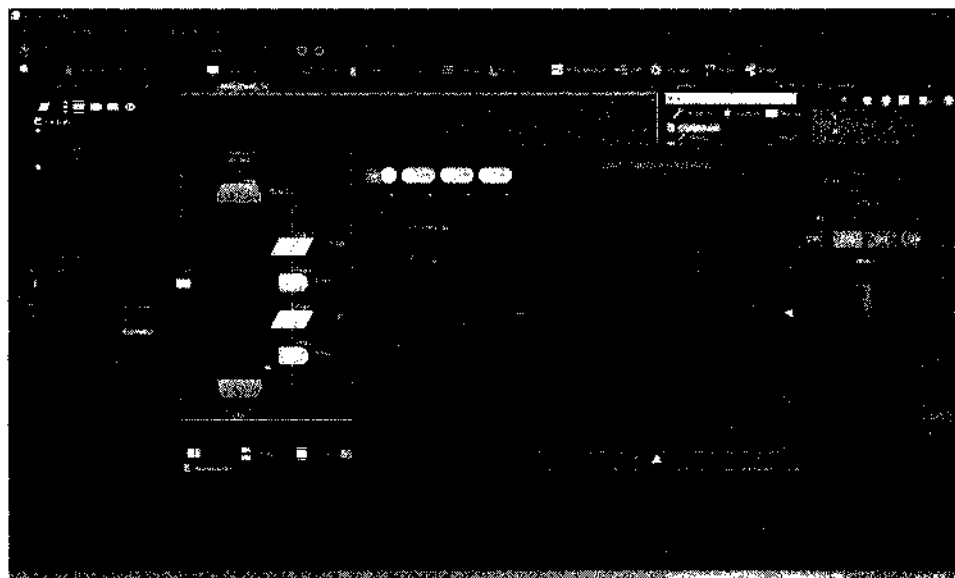


Рис. 20.14. Наблюдение за сигналом на выводе Arduino

Да. Но прежде следует сказать, что модуль nRF24L01 питается от напряжения 3,3 В, а с модулем Arduino «общается» по протоколу SPI. С тем, как соединить два модуля предстоит разобраться. Об этом подробнее можно прочитать в книге [7], в которой есть подробный рассказ о протоколе SPI и модуле nRF24L01.

Выводы на гребенке модуля не подписаны, поэтому (рис. 20.15):

Для подключения к Arduino используем выводы:

- ♦ вывод 13 — SCK;
- ♦ вывод 12 — MISO;
- ♦ вывод 11 — MOSI;
- ♦ вывод 10 — CSN;
- ♦ вывод 9 — CE.

К выбору выводов вернемся чуть позже, а сейчас

рассмотрим то, что предложено в программе для nRF24L01. Более того, начнем с того, как загрузить программу в модуль Arduino.

Первая попытка загрузить проект в Arduino прямо из программы Flowcode завершилась неудачей. В разделе *Build→Compiler Options* на закладке *Programmer* можно видеть, что в параметрах для *avrdude*, программы программатора, идет обращение к порту COM1, но изменить

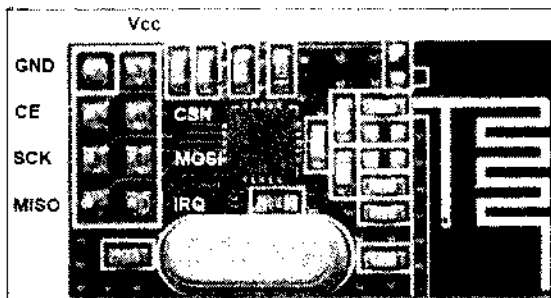


Рис. 20.15. Выводы модуля nRF24L01  
(питание Vcc = 3,3 вольта!!!)



Рис. 20.16. Задание порта для работы с Arduino

что-то на этой закладке не получается.

Чтобы изменить номер порта (рис. 20.16), следует обратиться к свойствам проекта:

*Build*→*ProjectOptions*.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Возможность выбрать порт появляется после подключения модуля Arduino к USB-порту.*

План действий у меня простой: собрать простейшую программу отправки данных и увидеть работу выбранного канала в программе сканера для Arduino, как это показано на рис. 20.11.

## || Пробуем реализовать свой план

Как и любой компонент программы Flowcode, модуль nRF24L01 имеет встроенные свойства.

**Первое свойство**, которое по моему разумению следует использовать в разделе задания, это инициализация. Вот, что написано про это в справках к Arduino:

### Initialise

Starts up and configures the RF module ready for use.

The macro will return a value greater then 0 if the module has been started correctly, otherwise the macro will return a 0.

### Parameters

This macro has no parameters

*Return value* UINT

*Запускает и конфигурирует RF модуль, подготавливая его к использованию. Макрос возвращает значение больше 0, если модуль запускается успешно, иначе возвращает ноль. Макрос не имеет параметров. Возвращаемое значение — беззнаковое целое.*

Кроме того, как мне кажется, в разделе задания следует использовать макрос задания режима передачи.

#### SetTxMode

Sets the module up ready to transmit data.

#### Parameters

BYTE PA0

Pipe Address Bytes

BYTE PA1

Pipe Address Bytes

BYTE PA2

Pipe Address Bytes

BYTE PA3

Pipe Address Bytes

BYTE PA4

Pipe Address Bytes

*Задаёт готовность модуля к передаче. В качестве параметров используется адрес передатчика из пяти байтов.*

Затем в цикле, похоже, следует записать передаваемые данные.

#### WriteTxByte

Reads a single byte to the local Tx buffer.

#### Parameters

BYTE Index

Byte to read, range 0 — 31

BYTE Value

#### Return value

This call does not return a value

*Считывается один байт в локальный Tx буфер. В качестве параметров используется индекс (0-31) и значение. Макрос не возвращает значения.*

На одном из форумов в Интернете я нашел программу для работы с датчиками, отображением информации на дисплее и передаче данных через nRF24L01. В программе добавлен еще один макрос.

#### WriteTxFifo

Writes the contents of the local Tx buffer to the Transmit FIFO.

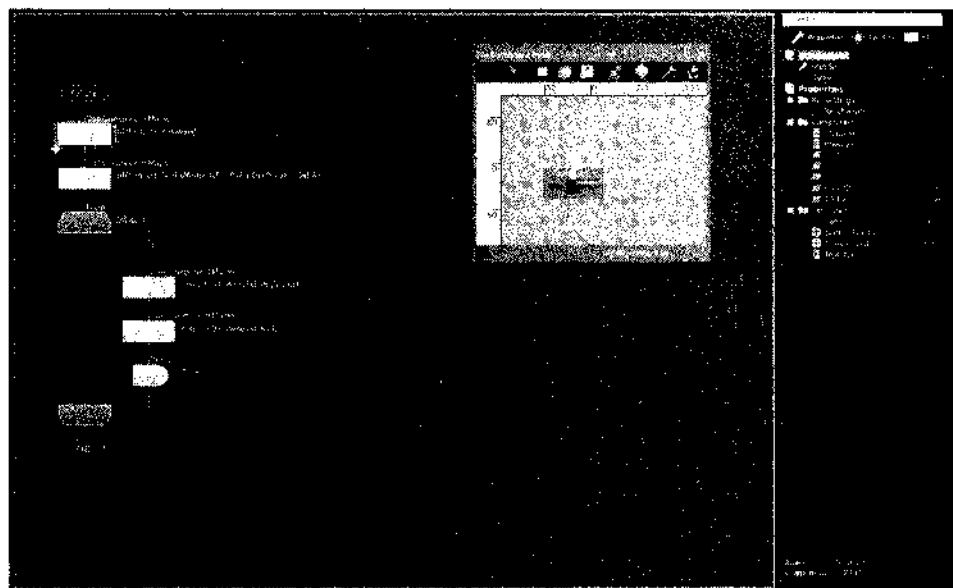
#### Parameters

BYTE NumBytes

Number of bytes to write to the FIFO, Range 1 — 32

#### Return value





**Рис. 20.18.** Программа и дополнительные свойства NRF24L01

В разделе соединений:

### Channel

This property is of type Fixed list of ints and can be referenced with the variable name `cal_spi::CHANNEL`.

SPI Channel selector

### Prescale

This property is of type Fixed list of ints and can be referenced with the variable name `cal_spi::PR_SCALE`.

Prescale option selector

Свойство *Channel* имеет тип *Fixed list* (список целых) и соотносится с именем переменной `cal_spi::CHANNEL`, селектор SPI Channel.

Свойство *Prescale* того же типа и соотносится с переменной `cal_spi::PR_SCALE`, селектором делителя.

Относительно *Channel* я пока считаю, что это выбор аппаратного интерфейса или программного интерфейса SPI. Оставив *Channel* 1, я рассчитываю, что будут использованы выводы модуля микроконтроллера (рис. 20.19).

Если есть возможность использовать встроенный интерфейс, будет это интерфейс последовательного обмена данными USART, будет это интерфейс 1-Wire, не важно, удобно использовать готовый к работе вариант, переходя к программному интерфейсу только тогда, когда аппаратного интерфейса или нет, или он уже занят.



проста — за это время библиотека RF24 обновилась и несколько строк прежней программы для приемника нужно заменить.

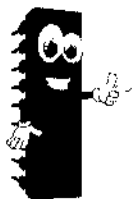
Прежний вариант:

```
bool done = false;
while (!done) {
  done = radio.read( &dataIn, sizeof(dataIn));
}
```

Новый вариант:

```
while (radio.available()) {
  radio.read( &dataIn, sizeof(dataIn));
}
```

Убедившись в том, что программы работают, оставив программу передатчика, а вместо программы приемника, загрузив сканер, можно наблюдать, что канал 76 (и близкие каналы) проявляют большую активность (пауза в цикле небольшая). Из этого я делаю вывод, что модуль исправен, а моя программа передатчика в Flowcode не работает (как программа).



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Используя программу scanner, я часто делаю ошибку — забываю поправить выводы CSN и CE, которые в оригинале 8 и 7. В этом случае вместо активности каналов я получаю строки вида ffffff...*

Есть два варианта:

- или удалить все, что написано выше, и как истинный «гуру», выпятив живот, привести подправленные и работающие программы для среды Arduino;
- или, оставив живот в покое, попробовать разобраться с программой в Flowcode.

В первую очередь, можно посмотреть, используя виртуальный осциллограф, есть ли «жизнь» на выводах SPI. Через *GhostOptions* включаем осциллограф (*View→Oscilloscope*). Теперь, при включении каналов (щелчком левой клавиши мышки по надписи Off), можно из выпадающего списка под кнопкой включения канала выбрать вывод, к которому канал подключается. После запуска симуляции можно наблюдать картину, которая не вызвала, признаюсь, у меня прилива энтузиазма (рис. 20.21).

Поначалу и не сообразишь, что на экране. Пока до тебя не доходит, что все сигналы смешались вместе. Мы подключались к нескольким каналам. Наверное, можно включать каналы по очереди, просматривая канал за каналом.



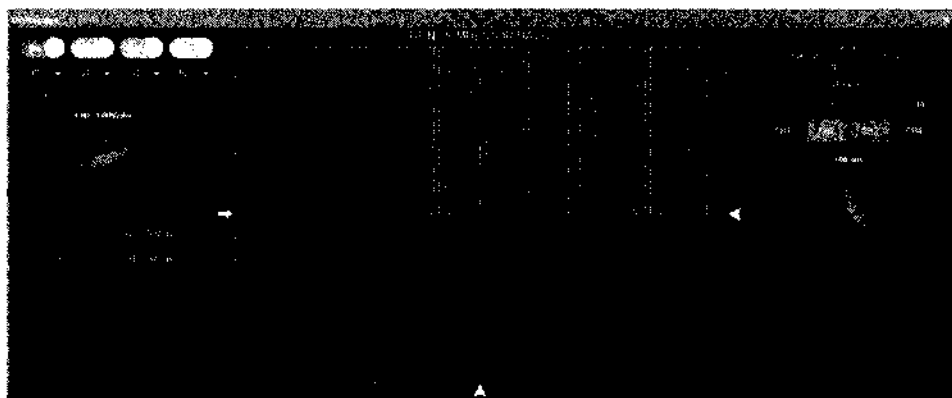


Рис. 20.21. Первое наблюдение за сигналами SPI

## Настройка виртуального осциллографа

Если бы нас интересовало наличие сигналов, то этого было бы достаточно. Но нам важно не только наличие сигналов, но и их соотношение. Во многих случаях это оказывается самым важным при проверке работы микроконтроллера.

**Радиолобитель:** *Как изменить картину сигналов к лучшему?*

Начнем с того, что выключим все каналы, кроме первого, подцепим цветную стрелку слева и переместим ее вверх по экрану. Повторим эту процедуру для всех стрелок (рис. 20.22).

Каждая стрелка своим цветом соответствует цвету канала, отмеченному на выключателе канала (самая верхняя строка слева). Разделить

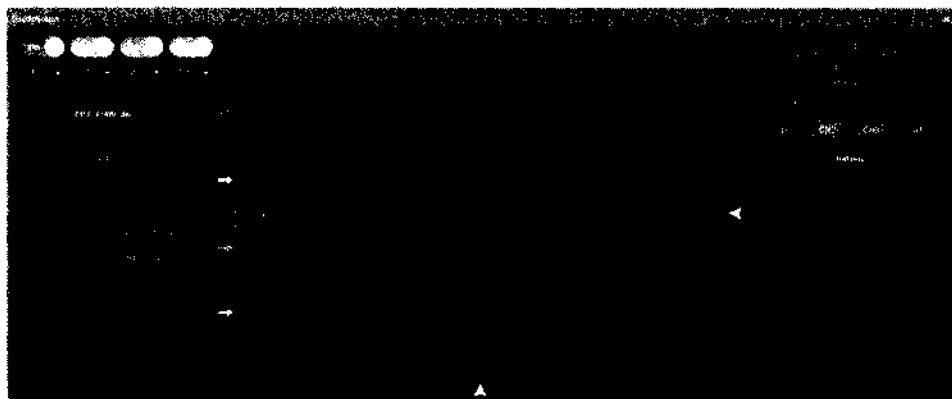


Рис. 20.22. Распределение каналов по экрану осциллографа

каналы, когда вы работаете с несколькими сигналами, удобно так, чтобы вам было понятно именно соотношение сигналов. Так сигналы тактирования, например, удобно поместить под сигналами данных. В ряде случаев данные могут меняться передним фронтом тактовых импульсов, а могут меняться задним фронтом. Прочитывая значение сигнала, этим фактом не следует пренебрегать.

Вернемся к работе с осциллографом.

Выделив канал (кружочек под ним на левой панели), подцепим мышкой переключатель чувствительности канала и переместим его так, чтобы чувствительность была 5 вольт на деление. Сделаем это для всех каналов (рис. 20.23).

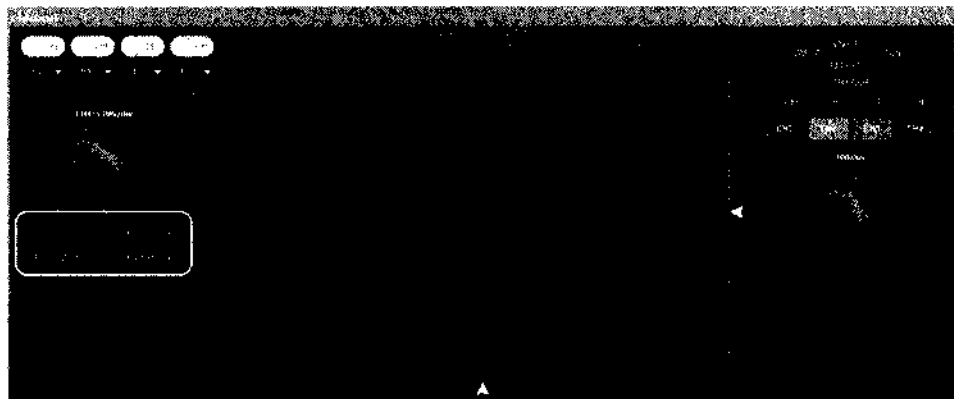
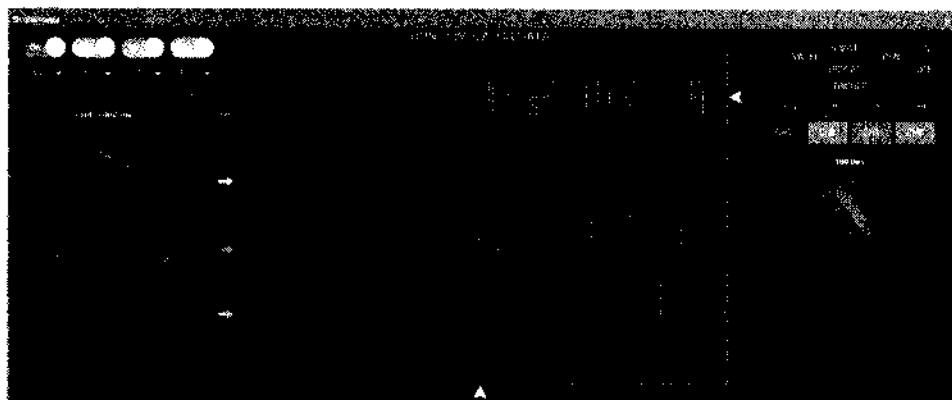


Рис. 20.23. Настройка чувствительности каналов

Теперь сигналы хорошо различимы на экране осциллографа. Но сигналы отображают изменение напряжения во времени. Когда сигнал периодический, с ним легче работать — все циклы изменения напряжения одинаковы. Конечно, при условии, что с сигналом не происходит ничего необычного.

Сигналы цифровых устройств, исключая тактовый генератор, не страдают повторяемостью в равные промежутки времени. Это же можно сказать о сигналах, с которыми работает микроконтроллер. Поэтому при работе с ними нужно «привязаться» к какому-то сигналу, который можно считать «точкой отсчета». Синхронизация изображения этим сигналом позволяет наблюдать весь процесс под правильным углом.

Переместив стрелку справа от экрана на сигнал первого канала, нажмем кнопку **CH1** (справа), кнопку **R** (выше), клавишу **REPEAT** (еще выше), после запуска симуляции можно нажать кнопку **RUN → ON** и получить вполне удобное изображение (рис. 20.24).



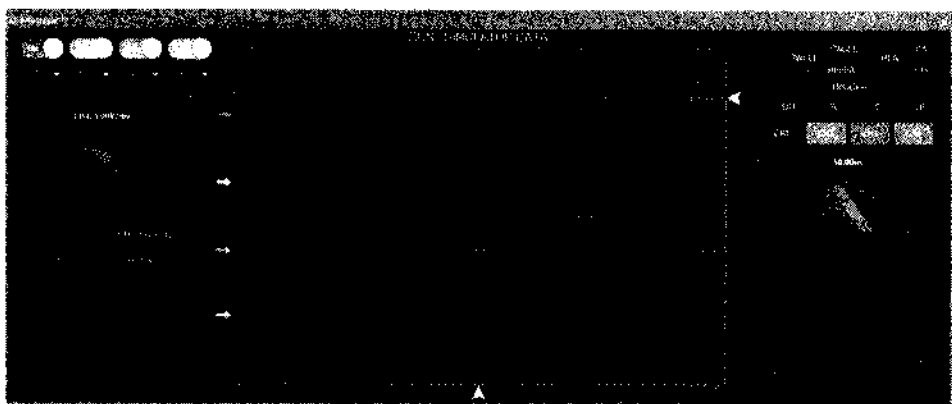
*Рис. 20.24. Сигналы на экране осциллографа*

Такой настройкой мы зафиксировали начало наблюдения фронтом импульсов первого канала. Настройки осциллографа позволяют сделать синхронизацию не передним, а задним фронтом импульса. Кроме того, мы выбрали режим повторения просмотра, но можно выбрать, в ряде случаев это удобнее, получение единственного «снимка экрана».

С подобной ситуацией приходилось сталкиваться при работе с реальным осциллографом, когда самое интересное происходит, например, при включении питания устройства.

На **рис. 20.24** видно, что тактирование есть, но не видны детали. Обычно для этой цели используется настройка скорости развертки осциллографа. Но виртуальный осциллограф имеет, видимо, ряд свойств, присущих только ему.

Если курсор мышки поместить на экран виртуального осциллографа и крутить колесико мышки, то переключатель развертки вращается, и сигнал меняет свой вид (**рис. 20.25**).



*Рис. 20.25. Подбор развертки*

После настройки осциллографа становится ясно, что тактовые импульсы появляются в должном количестве — восемь тактовых импульсов; есть управляющие сигналы ведущего и сигналы выбора кристалла. Я в полном недоумении.

## Не всегда легкий путь так легок

Обращаясь к программе Flowcode, я хотел показать, как легко «дернуть за веревочку, чтобы дверца открылась». А сейчас мое недоумение относится не столько к неудаче, сколько к тому, что я не знаю, как найти проблемное место, как найти причину неудачи. Первое, что приходит в голову — использовать реальный осциллограф, чтобы убедиться в наличии всех сигналов на выводах интерфейса SPI. На эту мысль наводит тот факт, что после загрузки программы в Arduino и подключения модуля к внешнему питанию загорается светодиод на выводе гребенки 13. Не помогает кнопка сброса, светодиод загорается вновь.

После подключения щупа осциллографа к выводу 13 светодиод гаснет, но и сигнала тактовых импульсов я не вижу. Еще одна странность — если уменьшить паузу в конце цикла до 20—30 миллисекунд, то кнопкой сброса на плате Arduino удастся погасить светодиод, появляются тактовые импульсы. Все это, согласитесь, странно.

Когда-то я в ранних версиях Flowcode (сейчас у меня есть возможность поработать с версией 8.0.0.6) я использовал программу программатора avrdude для загрузки рабочей программы в модуль Arduino, но в следующих версиях это не получалось, но я и не настаивал. Сейчас у меня есть желание загрузить полученный при трансляции программы hex-файл непосредственно в модуль Arduino (рис. 20.26).



*Я уже не помню, как работать с avrdude, поэтому ищу и нахожу подсказку в Интернете. Возможно, и вам она понадобится.*



Программа работает, файл загружается, а светодиод упорно горит, заставляя меня искать другие пути поиска проблемы.

Никто не отрицает, что большая часть проблем лежит в тексте программы. Другое дело, что текст программы, вернее, саму программу вы и микроконтроллер видите по-разному. Вы видите то, что хотели бы видеть в работе программы, а микроконтроллер видит то, что вы написали.

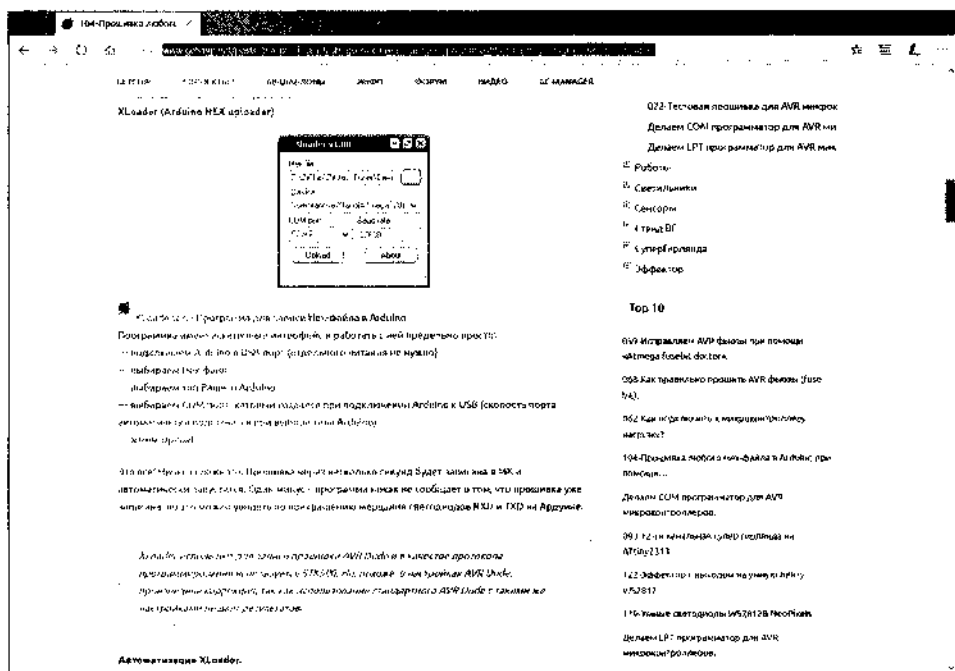


Рис. 20.26. Программа для непосредственной загрузки hex-файла в Arduino по USB

Чтобы выяснить, кто из вас прав, вам приходится использовать все доступные в среде разработки средства. Иногда озарение приходит по первому зову. Так бывает. Но так бывает, к сожалению, слишком редко.

Более того, если вы работаете с программой нечасто, у вас внутри сидит «маленький бесенок» недоверия к программе. Вдруг она «глючит», а вы будете тратить свое драгоценное время и не менее драгоценные нервы на борьбу с этим «глюком»!

Кроме виртуального осциллографа в программе Flowcode 8 наблюдать сигналы можно с помощью записывающего устройства (рис. 20.27).

Подозревая, что осциллограф, с которым пришлось повозиться, в знак «неблагодарности» мстит вам, вы можете записать сигналы, как это сделал бы любой записывающий осциллограф. Записав сомнительный фрагмент в работе устройства, можно тщательно его проанализировать, что не всегда получается при работе с обычным осциллографом старого типа.

Многие радиолюбители предпочитают работать с осциллографами, имеющими обычную трубку в качестве экрана. В чем-то они правы. Так, осциллограф, использующий аналого-цифровую обработку сигнала, может не «доглядеть» за состоянием сигнала во время обработки счи-

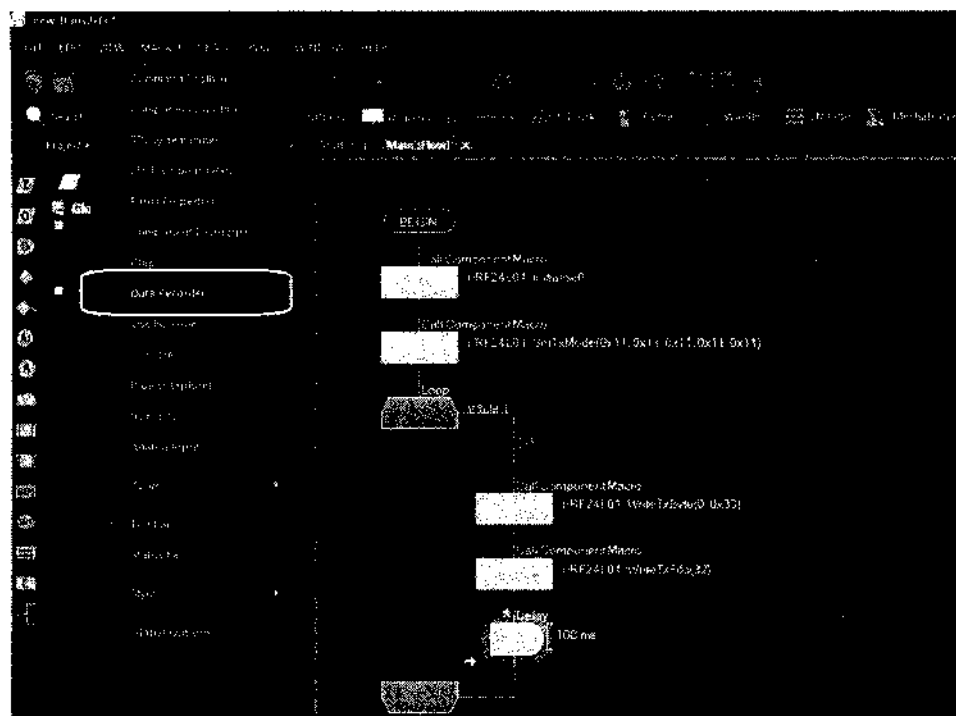


Рис. 20.27. Устройство записи данных

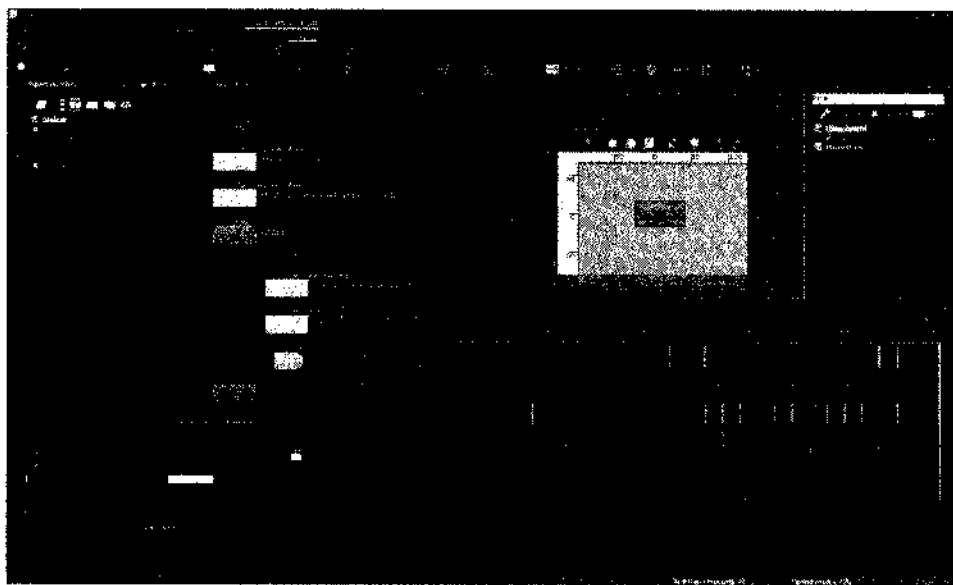
танного сигнала. Положим, на импульс или другой сигнал накладывается помеха в виде очень короткого всплеска напряжения. Едва ли АЦП отработает такую помеху.

## Еще один виртуальный прибор Data Recorder

Запишем наши сигналы. Для этого достаточно щелкнуть левой клавишей мышки в выпадающем меню *VIEW*, чтобы получить возможность увидеть это полезное устройство. Нужные для проверки выводы подписаны, все очень удобно. Если теперь нажать кнопку симуляции на инструментальной панели, то появятся сигналы интерфейса SPI (рис. 20.28).

Запись выполняется параллельно с отображением сигналов на экране. Конечно, увидеть что-то полезное пока не получится.

Первая попытка увидеть сигналы на экране осциллографа тоже не была успешной. Не приходится удивляться тому, что, сменив одно устройство наблюдения за сигналами на другое, мы не сразу добьемся успеха. Нужно настроить записывающее устройство.

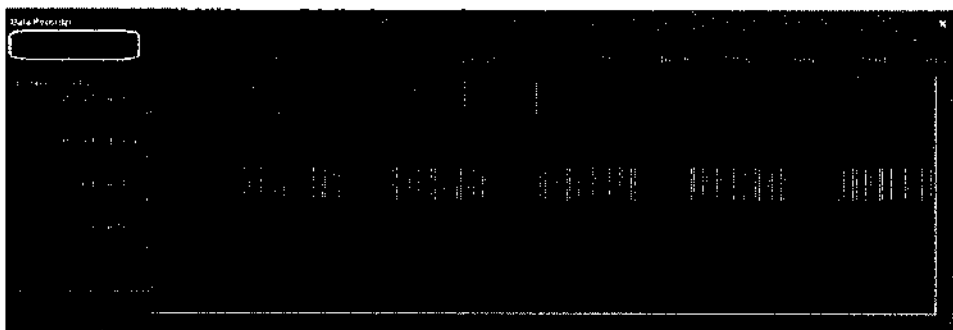


*Рис. 20.28. Наблюдение за сигналами с помощью Data Recorder*

Щелчком левой клавишей мышки по ползунку в левом верхнем углу Recorder'a, и с помощью колесика мышки настроим подходящий вид сигналов (рис. 20.29). Следующая панель с кнопками стрелок влево-вправо позволяет после приостановке симуляции посмотреть записанные сигналы.

Но тот факт, что сигналы при моделировании можно наблюдать, мы знали и раньше, используя осциллограф.

Иногда исследовать текст программы удобно в режиме, который называется пошаговым. В этом режиме можно проследить, как меняются переменные, что происходит с самой программой, когда меняются переменные. Моделирование программы целиком исключает наблюдение за переменными, поскольку изменения происходят слишком быстро.



*Рис. 20.29. Настройка вида сигналов*

Правда, многие среды разработки имеют средства остановки программы на какой-то выбранной строке, когда можно проверить и переход к этой строке в программе, и значения переменных, которые изменились к этой строке. Что предлагает программа Flowcode?

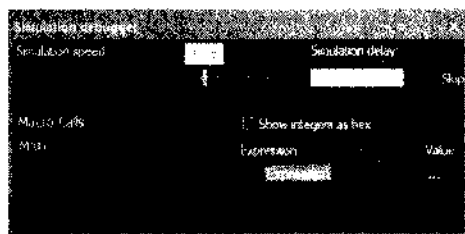


Рис. 20.30. Панель симуляции с регулятором скорости процесса

**Обратим внимание** на панель симуляции. Перемещая ползунок скорости симуляции, можно перевести режим моделирования в пошаговый с большими паузами (крайнее правое положение движка). Нужную паузу легко подобрать (рис. 20.30).

В окошке *Simulation speed* (скорость моделирования) отображается тактовая частота моделирования.

Ниже в правой части (*Expression*) можно ввести переменную для наблюдения за ней. Значение переменной, если это целое, можно получить в десятичном или шестнадцатеричном виде. Для этого устанавливается или снимается флажок в опции *Show integer as hex* (наблюдать за целым в шестнадцатеричном виде).

И можно использовать еще один инструмент — консоль (основное меню, *VIEW→Console*). Это поможет нам просмотреть процесс настройки модуля nRF24L01 (до перехода к циклу). Запустим, настроив

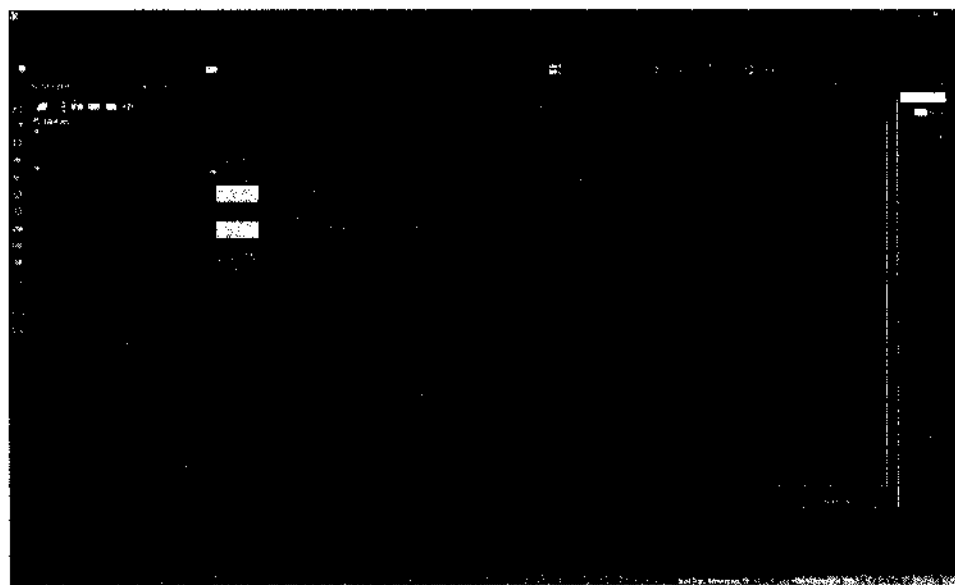


Рис. 20.31. Моделирование с использованием консоли



все, симуляцию и остановим ее при переходе к циклу (рис. 20.31). В консоли выберем закладку *nRF24L01 — SPI 1*.

Сейчас записывающее устройство и консоль показывают команды, поступающие к *nRF24L01*. Самые первые команды. Попробуем разобрать первый сигнал линии *MOSI*, ориентируясь на фронты тактовых импульсов линии *SCK*. Получается команда *00100100* или шестнадцатеричная команда *0x24*. И это первая команда, записанная в консоли.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Перемещаться в консоли по тексту можно с помощью движка справа в окне, а, щелкнув правой клавишей по тексту, можно выбрать очистку окна консоли (Clear text).*

## || О пользе справочников

Теперь пора заглянуть в справочные данные для *nRF24L01* (datasheet). Там есть список команд и описание регистров (рис. 20.32).

То есть, команда *00100100* — это запись в регистр *W\_REGISTER* с номером *100*, а в четвертом регистре задаются параметры автоматической передачи данных (число *0x4f*, следующее за командой).

Перебирая команды, можно убедиться, что модуль *nRF24L01* получает все необходимое, кроме...

Есть команда *0x25*, которая должна записать номер канала *76*. Номер канала был задан в настройках компонента, но я не нахожу его в программе. Возможно, в следующих версиях, а сейчас уже вышла версия **8.2**, это будет сделано, но мы сделаем это вручную. Добавим еще один компонент *WriteRegister* (рис. 20.33). В его свойствах запишем команду (полную команду как *0x25*) и номер канала *76*.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*При создании нового проекта есть возможность выбрать нужный модуль из нескольких моделей Arduino Uno. Если выбрана неправильная модель, то загрузка не будет завершена, а программа avrdude сообщит об этом. В окне сборки проекта можно увидеть, что начнется загрузка с идентификации модуля.*

Некоторые команды модуля nRF24L01

Instruction Name	Instruction Format [binary]	# Data Bytes	Operation
R_REGISTER	000A AAAA	1 to 5 LSByte first	Read registers. AAAAA = 5 bit Memory Map Address
W_REGISTER	001A AAAA	1 to 5 LSByte first	Write registers. AAAAA = 5 bit Memory Map Address <i>Executable in power down or standby modes only.</i>
R_RX_PAYLOAD	0110 0001	1 to 32 LSByte first	Read RX-payload: 1 – 32 bytes. A read operation will always start at byte 0. Payload will be deleted from FIFO after it is read. Used in RX mode
W_TX_PAYLOAD	1010 0000	1 to 32 LSByte first	Used in TX mode Write TX-payload: 1 – 32 bytes. A write operation will always start at byte 0.

Регистры модуля

03	SETUP_AW				Setup of Address Widths (common for all data pipes)
	Reserved	7:2	000000	R/W	Only 000000 allowed
	AW	1:0	11	R/W	RX/TX Address field width '00' - Illegal '01' - 3 bytes '10' - 4 bytes '11' - 5 bytes LSByte will be used if address width below 5 bytes
04	SETUP_RETR				Setup of Automatic Retransmission
	ARD	7:4	0000	R/W	Auto Re-transmit Delay '0000' – Wait 250uS

Рис. 20.32. Список команд для nRF24L01

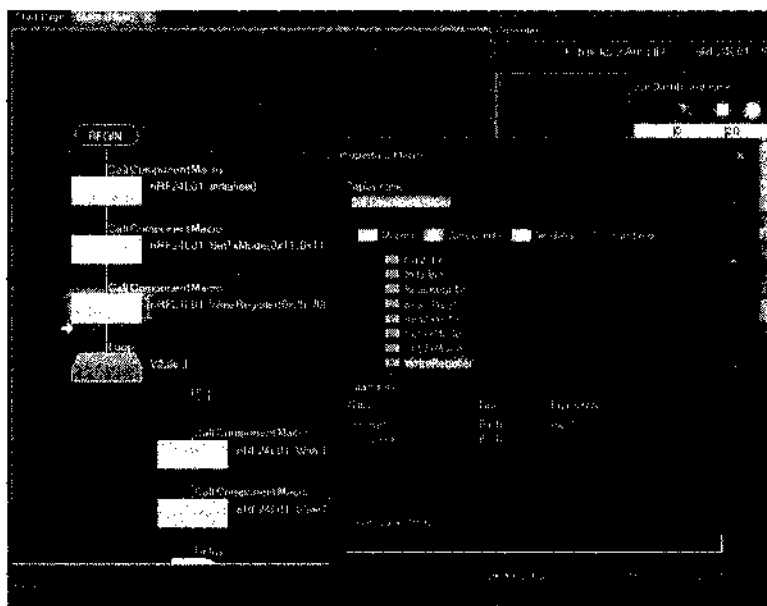
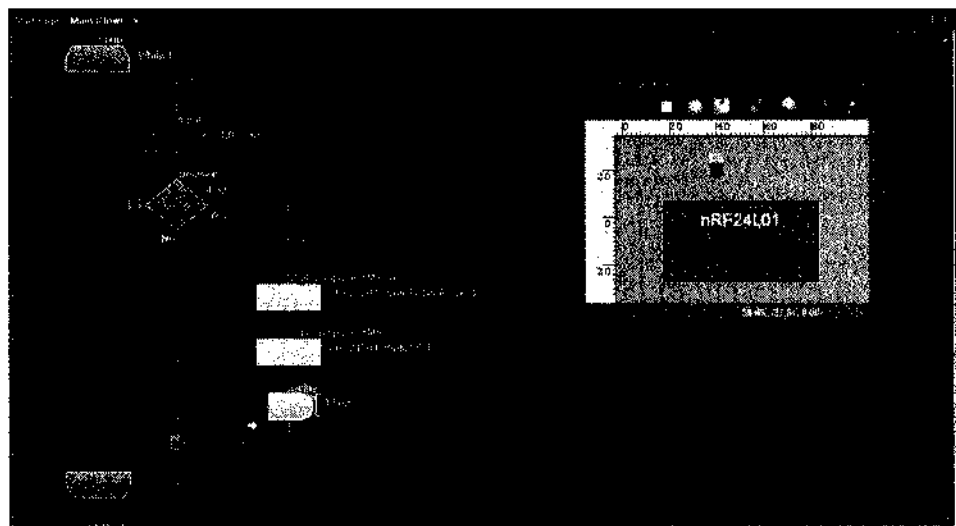


Рис. 20.33. Добавление номера рабочего канала радиомодуля





*Рис. 20.35. Добавление к программе обработки состояния датчика*

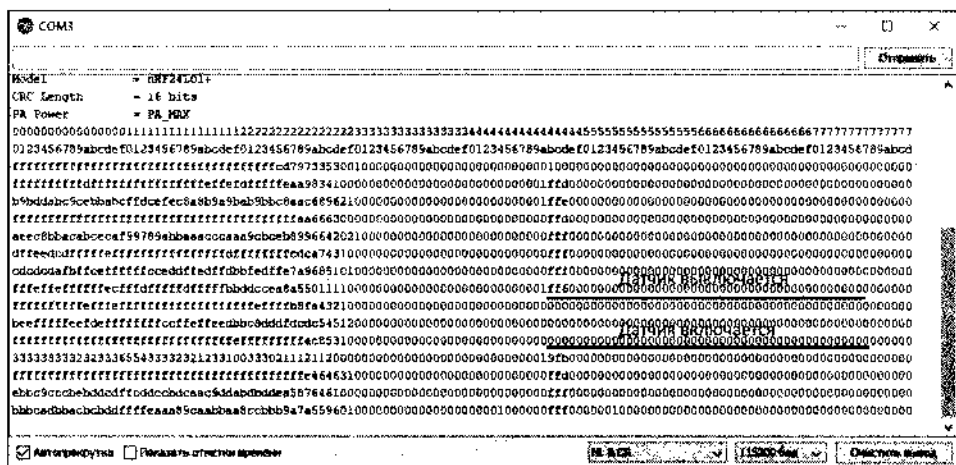
понять, когда устройство заработает, что можно поправить, если в работе устройства обнаружатся недочеты.

При макетировании сложных в проверке устройств следует весь процесс отладки разделять на разумные «функциональные блоки». Так, проверить, обрабатывает ли программа срабатывание датчика, можно включая светодиод, который находится на плате Arduino. Да, программу, возможно, придется менять, но это сделать несложно. А, если программа небольшая, то можно оставить и без изменений.

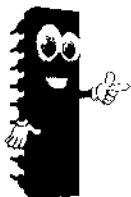
Этот светодиод можно использовать, скажем, при проверке, попадает ли работа микроконтроллера в нужное место программы при каких-то изменениях, в нашем случае изменениях в состоянии датчика. По завершении этого этапа макетирования можно перейти к проверке «связи».

И сканер каналов должен, я надеюсь, показать обработку состояния датчика. Пока я использую не датчик движения, а переключение вывода 8 (PORTB0) с помощью кнопки (рис. 20.36).

При работе с электронными устройствами, проверяя макет или отыскивая неисправности, я привык доверять осциллографу и мультиметру. Но не всегда их хватает для работы, поэтому, отыскав совет, как работать с устройствами на частоте в несколько гигагерц, я очень им дорожу, стараюсь лишний раз напомнить об этом и в своих рассказах.



**Рис. 20.36.** Проверка с помощью программы scanner



**ПРИМЕЧАНИЕ.**

Недостаток в использовании инструмента scanner только один – этот сканер привязан к компьютеру. Но сегодня у многих есть планшет или ноутбук в дополнение к стационарному компьютеру, которые можно использовать, если вам необходимо проверить не только наличие сигнала, но и проверить дальность работы. При выборе планшета я, например, выбирал модель, имеющую USB вход. Планшет позволяет мне использовать осциллограф-приставку, он же помогает и в опытах со сканером.

## Программа для приема сигналов

Программа приемника оказывается весьма похожа на программу передатчика, исключая команды исполнения. В качестве «опознавательного знака» передатчик отправляет код 0x33 (это символ «3»). Его-то следует «ловить» приемнику. Если код тревоги пришел, то нужно включить тревожную сигнализацию. Для модуля Arduino это означает, что следует изменить сигнал на одном из выводов. В программе ниже в единицу устанавливается вывод B0 (8 вывод на гребенке).

В дежурном режиме этот вывод сбрасывается, выключая тревожную сигнализацию (рис. 20.37).



## || Пора подводить итоги и делать выводы

Любое из описанных устройств можно реализовать на практике. Есть множество и других схем устройств охранной сигнализации. Многие увлекаются охранными устройствами для дачных домиков, которые при проникновении в дом отправляют СМС на мобильный телефон. Собрать такое устройство не затруднит опытного радиолюбителя, но я, это мое личное мнение, не верю в успех такого решения. То есть, если вы можете добраться за 10—15 минут до «домика в деревне», получив тревожное сообщение, если вы можете без нарушения закона воздействовать на злоумышленника, то собирать такое устройство имеет смысл. Иначе вы можете получить больше проблем, чем кражу старого ведра из сарая или старого одеяла с дачи.

Кроме охраны дома от злоумышленников, вам может понравиться идея защиты от пожара или протечки. В этом случае любое из предложенных ранее решений можно реализовать, меняя датчики. Если, конечно, датчики подойдут для прямой замены. Иначе им следует «помочь», используя вспомогательные электронные компоненты. Но при этом следует учесть, что для практического применения лучше использовать готовые устройства, а для сигнализации о протечке воды, скажем, в квартире многоэтажного дома, следует быть уверенным, что вы можете быстро перекрыть воду, не давая ей испортить квартиры, расположенные под вашей.

Охрана своей собственности или своего дома — это задача, которую лучше возложить на соответствующие структуры. Но создание собственных устройств охраны в качестве учебной задачи не только увлекательно, но и весьма полезно. Не находите?

## || Что нужно знать для создания этого устройства?

В первую очередь, полезно иметь представление о цифровых устройствах. Цифровые микросхемы разрабатывались для построения цифровых вычислительных устройств.

Но начнем мы с аналоговых вычислительных машин, в основе работы которых были усилители, позволяющие выполнять математические операции. Появление и совершенствование транзисторов и технологий их изготовления породило широкий ряд подобных операционных усилителей, упакованных позже в корпуса микросхем. Это специфические усилители, которые позволяют осуществлять математи-

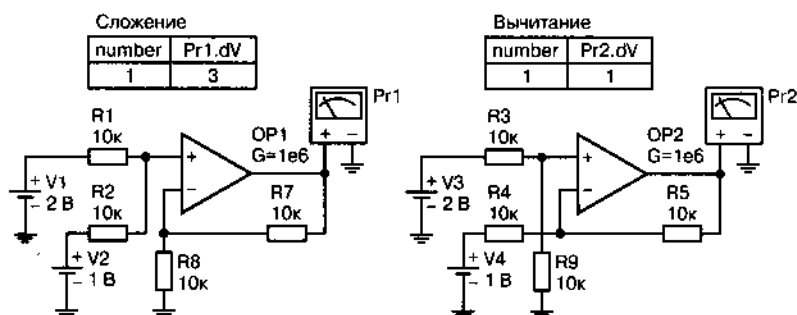


Рис. 20.38. Сложение и вычитание с помощью операционных усилителей

ческие операции. Посмотрим, как операционные усилители это делают (рис. 20.38).

Конечно, складывались и вычитались (дифференцировались и интегрировались) напряжения.

Со временем операционные усилители нашли широкое применение во многих электронных устройствах, и ряды моделей ОУ пополняются по сей день.

У аналоговых устройств есть один **недостаток** — влияние шумов на их работу, в частности, на работу вычислителя. Чтобы избавиться от этого, и стали разрабатывать цифровые вычислители, оперирующие с двумя хорошо различимыми напряжениями: для ТТЛ микросхем это 2,5 и 0,5 вольт. Эти напряжения представляют две цифры 1 и 0. Используя двоичные числа, представленные двумя цифрами, можно осуществить любые математические операции.

Вдобавок к вычислениям двоичная арифметика хорошо проецируется на бинарную логику. Поэтому простые цифровые микросхемы имеют названия И, ИЛИ, НЕ. Их действие часто описываются таблицами истинности (рис. 20.39).

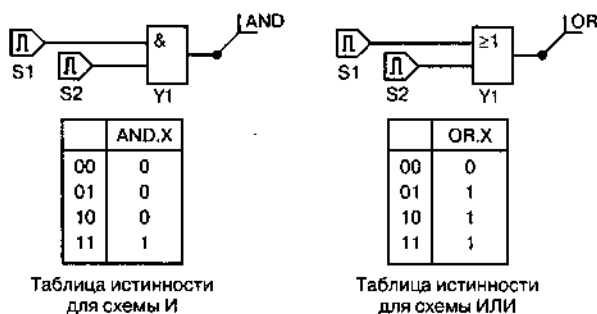


Рис. 20.39. Таблицы истинности



## || Немного из истории вопроса

Первые цифровые вычислители выполняли, собирая цифровые микросхемы из наборов, которые к тому времени были хорошо проработаны. Но по мере совершенствования технологии создания цифровых микросхем все эти наборы получилось уместить в одну микросхему, микропроцессор.

Микропроцессор был способен реализовать и математические, и логические операции.

Первые цифровые вычислители выявили необходимость в создании вспомогательных устройств: устройств ввода данных и операторов, программы, устройства наблюдения (монитор), устройства хранения данных (аппараты для перфокарт, цифровые магнитофоны, дисководы). Эти внешние устройства тоже совершенствовались — ранние устройства ввода и наблюдения были сделаны на базе пишущей машинки, сегодня это клавиатура и монитор. Сегодня цифровой вычислитель (компьютер) может не содержать электромеханических внешних устройств. Ваш планшет — чисто электронное устройство, если не считать электромеханическим устройством сенсорный экран.

По мере совершенствования цифровых вычислителей создавались и совершенствовались средства создания программ: языки программирования и среды разработки программ. Для создания кода многих программ достаточно использовать блокнот. Но для реализации этого кода его нужно транслировать, то есть, переводить на язык, который понимает микропроцессор. И, если первые программы писались на машинном языке, затем на ассемблере, сегодня широко используют языки высокого уровня вплоть до графических языков программирования.

Подобно операционным усилителям, микропроцессор в сочетании с другими цифровым устройствами оказался очень удобен в области автоматики. Ускорился этот процесс с появлением микроконтроллеров, которые сегодня совершенствуются каждодневно. На базе микроконтроллера создаются микроЭВМ; например, для радиолюбителей подойдет **Raspberry Pi**.

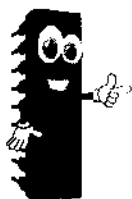
Хотя в любительских конструкциях удобнее применять более простые микроконтроллеры. Для их программирования есть бесплатные среды разработки, такие как MPLAB X, ATMEL Studio или Arduino. Но есть платные программы, например, Flowcode или Proteus. Какую среду разработки использовать радиолюбителю, его выбор.

# КОДОВЫЙ ЗАМОК

## Кодовый замок на реле

Кодовые замки используются давно, поэтому схем накопилось много. Но это устройство — хороший пример того, что одинаковые устройства могут быть реализованы на разных компонентах. Чтобы не усложнять схемы и рассуждения, используем минимальный набор требований к устройству, что легко исправить впоследствии.

Начнем с самого простого варианта: *кнопкой включается реле, которое своими контактами включает соленоид замка.*



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Еще проще было бы включать кнопкой соленоид, не используя реле, но реле нам нужно для дальнейших построений.*

**Радиолюбитель:** *Чем нас не устроит такой кодовый замок, если будет одна рабочая кнопка и несколько «фальшивых»?*

Тем, что перебрав кнопки легко открыть замок. В этом случае возникает вопрос: «И зачем огород городить?». Поэтому «фальшивые» кнопки должны блокировать замок, исключая его срабатывание при нажатии всех кнопок подряд. Для блокировки замка будет добавлено еще одно реле, отключающее питание от кнопок кода.

Все опыты проведем в программе **ISIS** из набора **Proteus**. Итак. Пусть две кнопки определяют код, а две кнопки будут фальшивыми. При

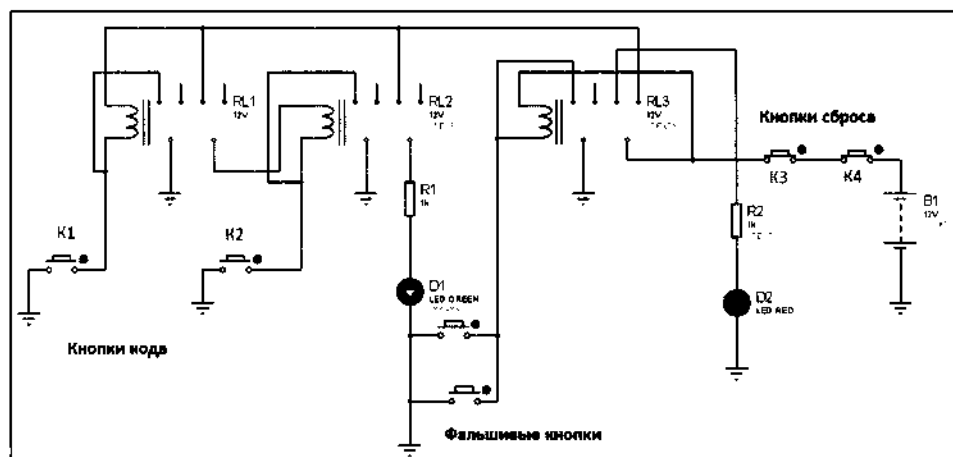


Рис. 21.1. Схема прототипа замка на реле

ошибке в наборе кода замок блокируется, зажигается красный светодиод на кнопочной панели. Осталось придумать, как разблокировать замок. Используем для этого еще две кнопки, которые нужно нажать одновременно.

Реле, срабатывающее после нажатия кнопки, должно своими контактами удерживать включенное состояние, а для продолжения работы другой парой контактов подключить вторую кнопку кода. Схема получается такой, как изображено на рис. 21.1.

## Пояснения к схеме

Кнопки К1 и К2 включают реле RL1 и RL2 точно в этой последовательности, то есть, если нажать кнопку К2, а затем нажать кнопку К1, то замок не откроется. Параллельно светодиоду D1 с резистором R1 включается соленоид замка. Первая группа контактов каждого реле блокирует соответствующие кнопки, оставляя реле, включенным после отпущения кнопки.

Каждая из «фальшивых» кнопок включает реле RL3, которое своими контактами отключает остальную схему от источника питания. Замок заблокирован. Чтобы разблокировать его можно использовать пару-тройку параллельно включенных кнопок на размыкание (на схеме показана только кнопка К3), которые следует нажать одновременно.

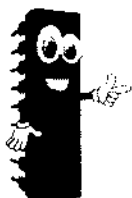
Еще одна кнопка К4 расположена внутри помещения, чтобы, войдя внутрь, можно было защелкнуть замок. Количество кнопок для кода, как и общее их количество, выбирается, что называется, «по вкусу». Стоимость решения представлена в табл. 21.1.

Стоимость решения

Таблица 21.1

Компонент	Количество	Стоимость, руб.
Реле РЭС47	5	$420 \times 5 = 2100$
Кнопки	10	$28 \times 10 = 280$
Светодиоды	2	$7 \times 2 = 14$
Резисторы 0,25 Вт 1 кОм	2	$2 \times 2 = 4$
Плата для монтажа	1	79
Коробка	1	420

Итого: 2897 руб.

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

*В стоимость решения не включен замок с соленоидом и блок питания. Эти компоненты входят во все решения, а их стоимость зависит от ряда факторов, которые следует уточнять при реализации проекта.*

## Кодовый замок на цифровых микросхемах

Реле — достаточно дорогостоящий элемент. Поскольку нас в данном случае интересует только логика работы устройства, мы можем отказаться от реле, используя цифровые микросхемы. Так, микросхема 7474 (KM155TM2) стоит около 30 руб. Попробуем повторить релейную схему, используя D-триггеры (рис. 21.2).

Триггеры, как и реле, имеют два устойчивых состояния. Реле: включено или выключено. Триггер: одно состояние, когда на прямом выходе, скажем, единица или другое состояние, когда единица отправляется на инверсный выход, а на прямом появляется ноль.

Триггеры бывают разные, что вы, мне кажется, знаете и без моего напоминания, но D-триггеры наилучшим образом подходят для нашей цели. Впрочем, если вам нравятся другие типы триггеров, то будет очень полезно (вам) создать устройство на «ваших любимчиках». Мой выбор определяется еще и тем, что микросхема 7474 содержит два триггера в одном корпусе. Согласитесь, существенное преимущество. Хотя, согласен, и спорное — трудно сказать, использовать ли одну микросхему или две?

В рассказах о микроконтроллерах я часто использую предварительное знакомство с D-триггерами. Можно даже сказать, что они «мои любимчики». Но не будем спорить о предпочтениях.

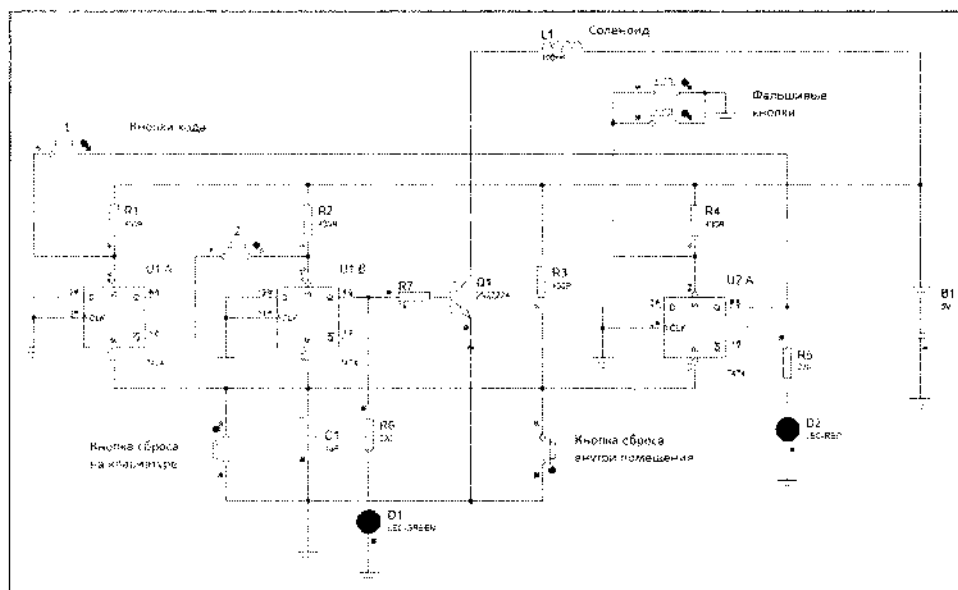


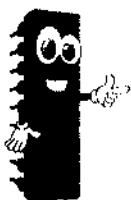
Рис. 21.2. Кодовый замок на цифровых микросхемах

О триггерах мы позже еще поговорим, и опыты с D-триггерами могут дать вам представление о том, как работают регистры микропроцессора, хотя устроены они иначе. И получить представление о том, как работают порты вывода микроконтроллера, которые тоже устроены несколько иначе, однако принцип работы похож.

Можно, конечно, не обращать внимания на устройство компонентов современных устройств, воспринимая их как некую данность под именем «регистр» или «порт», но полезно не только воспринимать, а и представлять, как это устроено.

## Уточним схему

Микросхема KM155TM2 (аналог 7474) содержит два D-триггера в одном корпусе. При использовании четырех кнопок для кода понадобится «три половинки» микросхем.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

Транзистор Q1 следует подобрать в соответствии с током, потребляемым соленоидом, возможно, потребуется радиатор для охлаждения транзистора.

Когда включается напряжение питания, через конденсатор С1 происходит сброс всех триггеров. На их инверсных выходах напряжение логической единицы (близкое к напряжению питания). От напряжения на прямом выходе с **вывода 5** микросхемы U2A питается первая кнопка кода. Нажатием этой кнопки подается логический ноль на вход установки триггера U1A. На его инверсном выходе, **вывод 5**, появляется напряжение логического нуля, которое используется для питания второй кнопки и т. д.

Вторая и последующие кнопки кода будут работать только при правильной последовательности набора кода. Когда вторая кнопка в нашей схеме нажимается, триггер U1B устанавливается, включая через транзистор соленоид. Зеленый D1 светодиод индицирует правильное включение.

При неправильном наборе, любая из «фальшивых» кнопок устанавливает триггер U2A; первая кнопка кода отключается от напряжения логического нуля и работать не будет. Красный светодиод D2 фиксирует неправильный набор.

Для повторного набора следует нажать кнопку сброса на клавиатуре, что позволяет осуществить правильный набор. Кнопка сброса внутри помещения тоже сбросит триггеры, замок закрывается, а схема готова к работе.

### Модификация схемы на D-триггерах

При моделировании схемы обнаружился один дефект: если нажать первую кнопку кода, а затем любую «фальшивую» кнопку, то светодиод блокировки загорается, но следующие кнопки правильного кода будут срабатывать, позволяя открыть замок.

Можно попробовать изменить схему: отделить сброс блокирующего триггера от остальных выводов сброса, а переход инверсного выхода блокирующего триггера U2A из состояния высокого уровня напряжения к низкому через конденсатор С3 использовать для сброса остальных D-триггеров (рис. 21.3). А стоимость решения представлена в табл. 21.2.

Скорее всего, питать все устройство придется от источника 12 В, поэтому для питания микросхем потребуются стабилизатор напряжения КР142ЕН5Ф (или импортный).

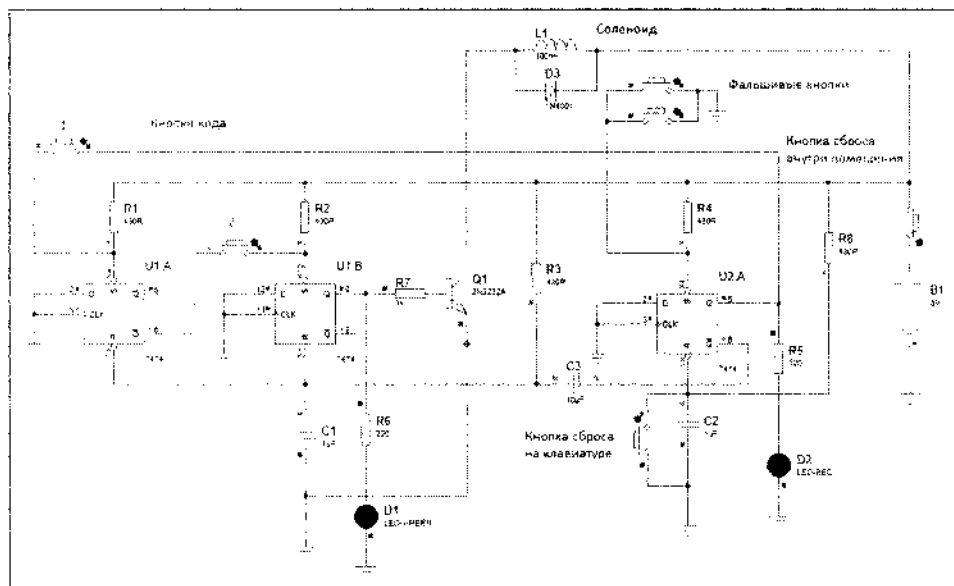


Рис. 21.3. Модификация исходной схемы кодового замка на D-триггерах

Стоимость решения

Таблица 21.2

Компонент	Количество	Стоимость, руб.
Микросхема KM155TM2	2	$30 \times 2 = 40$
Кнопки	10	$28 \times 10 = 280$
Светодиоды	2	$7 \times 2 = 14$
Резисторы 0,25 Вт	8	$8 \times 2 = 16$
Транзистор KT817Г	1	22
Стабилизатор KP142EH5A	1	50
Диод 1N4001	1	9
Конденсаторы	3	$6 \times 3 = 18$
Плата для монтажа	1	79
Коробка	1	420

Итого: 948 руб.



### СОВЕТ.

Транзистор следует подобрать и проверить, имея на руках готовый замок с соленоидом. Не лишним будет проверить при моделировании значения сопротивлений и конденсаторов, рассеиваемую мощность на транзисторе, повторив проверку на макете.

Диод D3 предохраняет транзистор от выбросов напряжения. В какой-то момент при моделировании для выключения замка с клавиатуры пришлось нажимать одну из «фальшивых» кнопок, затем кнопку сброса на клавиатуре. И у меня не сработал сброс кнопкой в помещении. Я подозреваю, что микросхемы при моделировании питаются от внутреннего источника, что и не дает выключить схему.

Однако подозрения к схеме «не припаяешь», поэтому до сборки схемы следует проверить ее работу с реальными микросхемами, будет ли работать такое решение? Или можно поступить иначе.

## Кодовый замок на микроконтроллере

Микроконтроллер можно использовать любой, у которого достаточное количество выводов порта. Используем в этом эксперименте PIC16F628A с внутренним тактовым генератором, что упрощает схему.

## Пояснения к проекту

Восьми кнопок будет достаточно для прототипа. Пусть три кнопки определяют код 241, открывающий замок. Остальные кнопки будут блокировать замок.

**Радиолюбитель:** *Как замок разблокировать?*

Нажатием двух кнопок вместе, положим, 5 и 6, замок будет разблокирован. Кнопка в помещении может отключать питающее напряжение, а может сбрасывать микроконтроллер в исходное состояние. Используем для создания программы для микроконтроллера программу Flowcode 8, хотя можно использовать и бесплатную среду разработки MPLAB X.

## Начало работы над проектом

Создадим новый проект. Обустроим окружение главного окна. Используем двумерную рабочую панель.

Создадим восемь переменных байтового типа для обслуживания восьми входов, к которым подключены кнопки. Создадим два флажка булева типа — они будут обслуживать кнопки 2 и 4. При правильном наборе, когда нажата кнопка 2 (начало набора кода), ее флажок будет



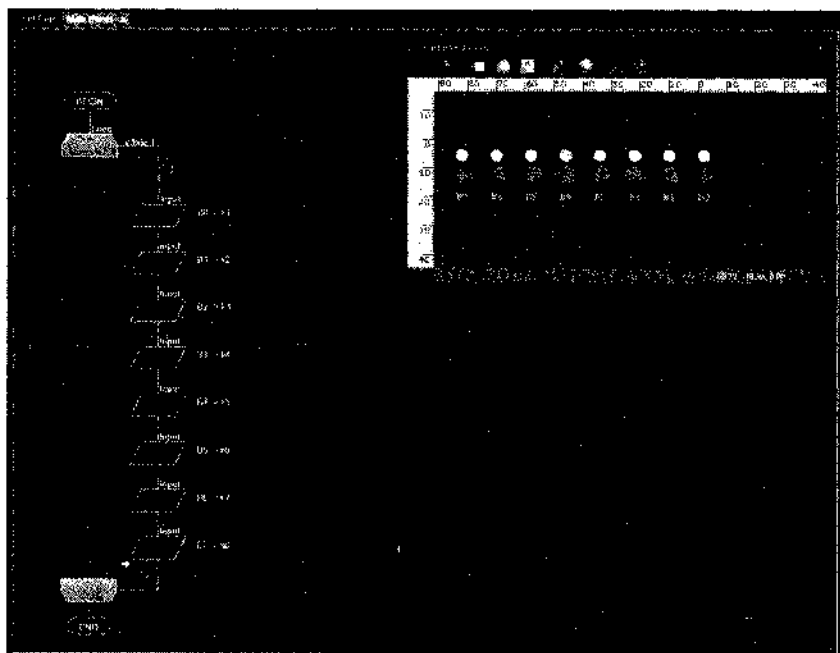


Рис. 21.4. Начало работы над программой для кодового замка

устанавливаться. Если затем нажата неправильная кнопка, то флажок сбросится. При нажатии **кнопки 4** проверяется, установлен или сброшен флажок **кнопки 2**. При правильном наборе он установлен, тогда устанавливается флажок **кнопки 4**, иначе замок блокируется.

При нажатии **кнопки 1** проверяется состояние флажка **кнопки 4**, если он установлен, замок открывается, иначе блокируется. Собираем программу (рис. 21.4), создавая необходимые переменные. На рабочую панель добавим блок из восьми кнопок.

На рис. 21.4 кнопки снабжены индикаторами их состояния. Будет ли кнопка работать на замыкание или на размыкание в программе, или кнопка будет без блокировки — это следует проверить, обращаясь к свойствам кнопок.

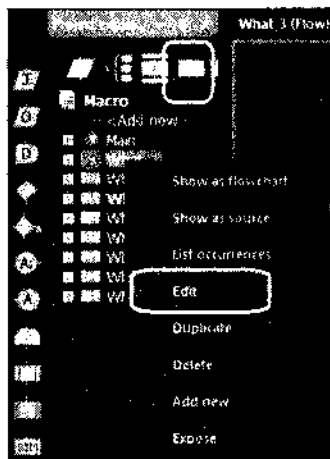
В основном цикле идет опрос состояния кнопок (состояние входов порта В), подразумевая, что нажатием кнопки вход переводится в состояние низкого уровня. То есть, кнопка включена между входом и землей.

**Радиолюбитель:** Мы разобрались с самыми простыми проблемами. А что дальше?

Чтобы не перегружать рисунок программы, мы создадим подпрограммы решений по нажатию кнопок; первую подпрограмму назовем *What\_1* (MACRO→New, рис. 21.5).



**Рис. 21.5.** Диалог создания новой подпрограммы (макроса)



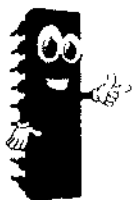
**Рис. 21.6.** Обращение к макросам

Механизм подпрограмм удобен, в первую очередь, для часто повторяющихся блоков программы. Но в среде разработки Flowcode нужно:

- ♦ либо уменьшить размер всех элементов, чтобы программа была обозрима, и тогда трудно прочесть надписи;
- ♦ либо использовать механизм подпрограмм.

Вызов подпрограммы обозначается одним элементом, а все, что происходит в подпрограмме можно посмотреть, обращаясь к закладке подпрограммы.

Согласитесь, так удобнее понять работу программы.



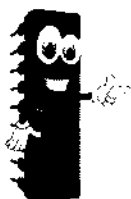
### ЭТО ВАЖНО.

*При работе с программой, вернее до начала работы с программой, хорошо бы продумать названия для переменных, названия для подпрограмм. Важно выбрать их такими, чтобы и по прошествии времени, если вы обращаетесь к программе, вам было понятно, какая переменная за что отвечает, что выполняет та или иная подпрограмма. Особенно это важно в том случае, когда вы планируете обнародовать свои программы. Далеко не всем будет понятно то, что вы в спешке предназначили для обозначений.*

Если вы не продумали полностью всю программу, что бывает часто с небольшими программами, вам, возможно, захочется изменить название макроса. Для этого в проводнике проекта выберите обращение к макросам (рис. 21.6). В появившемся в окне проводника перечне

макросов выберите нужный. Щелкните по его имени правой клавишей мышки и выберите из выпадающего меню раздел *Edit*. Это позволит отредактировать вам имя макроса или добавить какие-то параметры.

После создания подпрограммы в рабочем окне появится новый шаблон, который имеет два компонента **BEGIN** и **END**.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*В языке Паскаль так задавались программные скобки всех процедур.*

## Кнопки – главные действующие лица

Определимся, что мы хотим от нажатия **кнопки 1**. Эта кнопка входит в набор кода. В коде она занимает последнее место, поскольку правильность набора определяется не только кнопками, но и последовательностью их нажатия. Поскольку нажатие кнопки следует за нажатием **кнопки 4** (после ее нажатия устанавливается флажок  $f_{k4}$ ), то начинать следует с определения: установлен ли флажок  $f_{k4}$ ? То есть, была ли перед этим нажата **кнопка 4**. Если кнопка была нажата (после нажатия **кнопки 2**), то можно открывать дверь (у нас будут два светодиода, зеленый означает, что дверь открыта).

Если флажок  $f_{k4}$  установлен, то включается соленоид и открывает замок (у нас включается светодиод на выводе A0). Иначе замок блокируется (включается красный светодиод на выводе A1), ожидая разблокирования. Разблокировать замок можно одновременным нажатием **кнопок 5 и 6**. Пока замок не разблокирован, он не реагирует на другие кнопки.

Макрос, осуществляющий эту процедуру, выглядит так (**рис. 21.7**).



#### СПРАВКА.

*Все языки программирования используют несколько видов цикла. Минимальный набор включает цикл **While** (условие) и счетный цикл **for** (переменная; условие; шаг переменной). Если первый тип цикла выполняется до тех пор, пока выполняется условие, то второй тип выполняется заданное количество раз. Кроме этих видов цикла могут быть другие:*

***do..while (условие), repeat..until (условие).***

Цикл в этом макросе получился *Until*, проверяющий выполнения условия в конце цикла. После разблокирования сбрасываются все флажки и состояние кнопки 1.

Макрос для нажатой кнопки 4 можно легко переделать из макроса для кнопки 1. Только проверяется флажок нажатой кнопки 2. И, если он установлен, то устанавливается флажок этой кнопки (fk4) вместо открывания двери, как в предыдущем случае (рис. 21.8).

Макрос для кнопки 2 проще — это правильное нажатие кнопки для открывания двери (рис. 21.9). Нужно только установить флажок этой кнопки fk2.

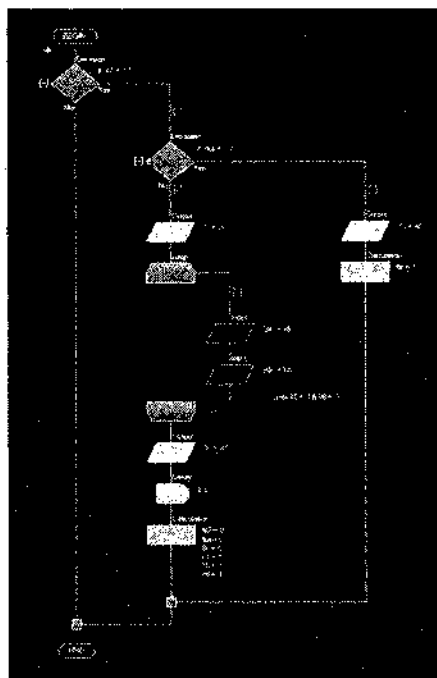
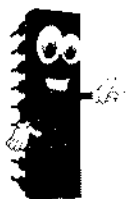


Рис. 21.7. Макрос для нажатой кнопки 1



## СПРАВКА.

В программировании понятие **флаг** относится к одному или нескольким битам памяти, используемым для хранения двоичной комбинации или кода, который характеризует состояние некоторого объекта. Флаги обычно входят в определенные структуры данных, такие как записи баз данных, и их значения, как правило, связаны со значением структур данных, частью которых они являются. Во многих случаях двоичное значение флага представляет собой кодированное представление одного из нескольких возможных состояний или статусов объекта. В других случаях двоичные значения флагов могут представлять собой один или несколько атрибутов в битовом поле, зачастую связанных с возможностями или доступом, например, «может быть записано в», или «может быть удалено». Однако флагам могут быть назначены и другие значения. Один из вариантов использования флагов состоит в маркировке для назначения структуры данных к последующей обработке.

Википедия

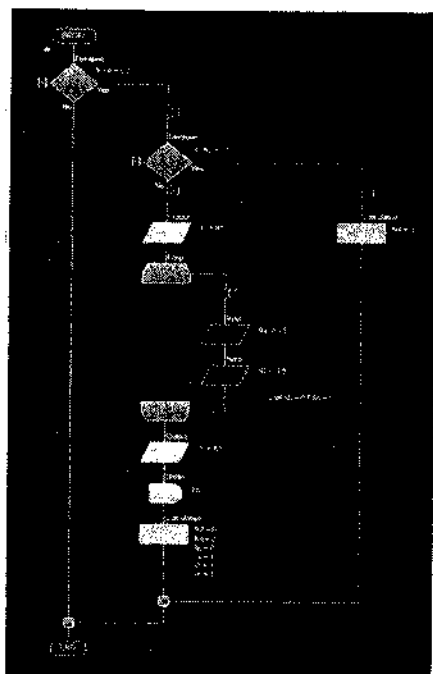


Рис. 21.8. Макрос для нажатой кнопки 4

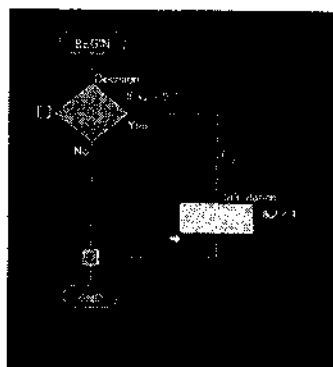


Рис. 21.9. Макрос для нажатой кнопки 2

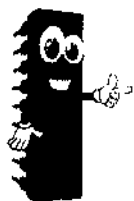
Макрос для кнопки 3 (похожие и для кнопок 7 и 8) подразумевает блокировку замка и перевод программы в режим ожидания разблокирования (рис. 21.10).

**Радиолюбитель:** Кодовый замок предназначен для защиты помещения от нежелательного проникновения, при этом он сам нуждается в защите!

В данном случае элементами защиты замка от легкого открывания служат два механизма:

- ♦ фальшивые кнопки, блокирующие замок;
- ♦ правильная последовательность набора кода, открывающая замок.

Правильная последовательность набора может сослужить хорошую службу и в других случаях. Например, при вводе критически важных данных, например, пароля. Или команды, которую нужно максимально упростить, но защитить от ошибки при вводе.



### СОВЕТ.

Как и для любой охранной системы, для кодового замка следует предусмотреть что-то, что позволит им пользоваться в нештатной ситуации. В данном случае при отключении питающей сети. Можно, конечно, использовать обычный замок, который открывается обычным ключом.

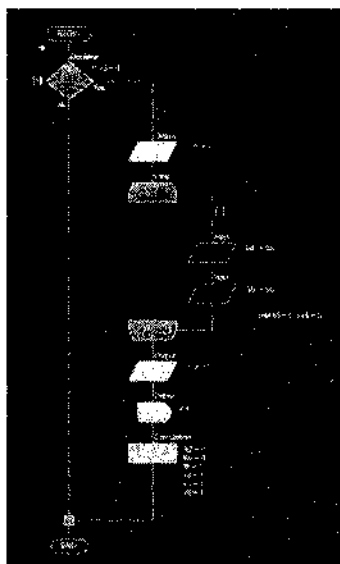


Рис. 21.10. Макрос для кнопки 3

Но тогда зачем мудрить с кодом, зачем такие сложности, если замок легко открыть злоумышленнику с помощью отмычек...

Можно вывести для подобной ситуации две клеммы, к которым подключается внешнее питание 12 В. Сегодня в продаже есть мини аккумуляторы для запуска двигателя автомобиля, если штатный аккумулятор разряжен. Если вы пользуетесь таким устройством, то в нештатной ситуации оно поможет открыть дверь, когда силовое питающее напряжение по какой-то причине пропало.

Однако продолжим нашу программу.

Кнопки 5 и 6 обрабатываются при разблокировании замка. В макросах для кнопок 7 и 8 меняется только проверка именно этих кнопок в ветвлении программы и сброс в конце. В остальном макрос, что я и делал, можно скопировать с макроса для кнопки 3. Достаточно выделить его левой клавишей мышки

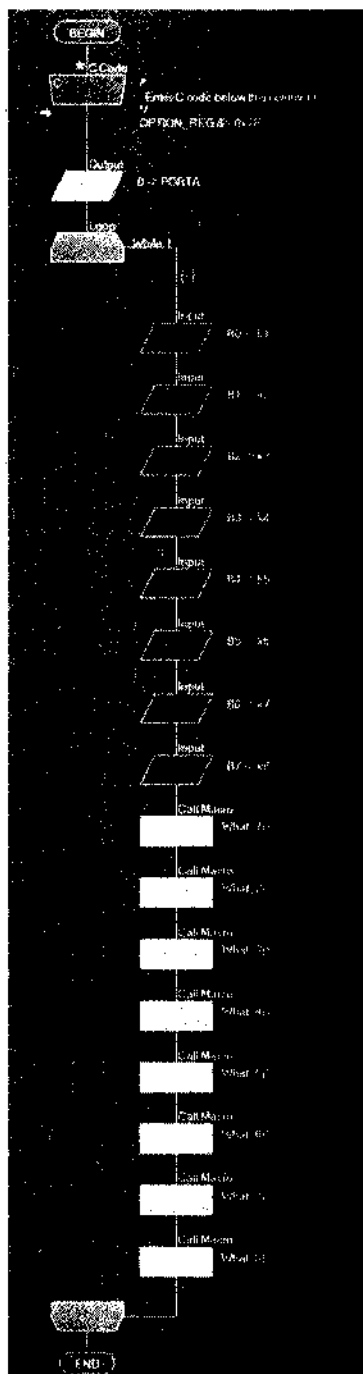


Рис. 21.11. Добавление макросов в основную программу

(обвести, удерживая клавишу), щелкнуть по выделению правой клавишей мышки, а из выпадающего меню выбрать пункт *Copy*. Правда, для вставки в новый макрос придется пользоваться основным меню (*Edit*→*Paste*).

Все команды, конечно, есть в основном меню. Можно пользоваться только им, но иногда удобнее использовать инструментальное меню. Которое, кстати, можно настроить по своему вкусу или по своим текущим запросам. Иногда удобнее щелкнуть правой клавишей мышки, чтобы выбрать нужную команду из выпадающего меню. Но это при условии, что есть все необходимое на инструментальной панели, или выпадающее меню существует, выпадающее меню не мешает задуманной операции, а нужная команда в нем есть.

После создания всех макросов, возвращаясь к основной программе, следует добавить эти макросы после опроса кнопок (рис. 21.11).

Заметьте, что программа начинается с вставки строки на языке Си: `OPTION_REG&= 0x7F;` — что связано с тем, что мне не удалось в параметрах подключения кнопок указать необходимость включения подтягивающих резисторов.

## || Не только графические компоненты языка

Возможность добавить строки на языке высокого уровня существенно расширяет возможности применения среды разработки при создании сложных программ. Сочетание быстрого выполнения программирования для стандартных операций и добавление нужного текста в виде вставки на языке, на который транслируется графическое представление программы, делает среду разработки интересной не только для начинающих осваивать программирование, но и для профессионалов.

Завершением программы, как обычно, будет проверка и отладка. Вот вид работающей программы после нажатия на кнопку 1 (рис. 21.12).

Нажата кнопка 1 (на рис. 21.12 отсчет с нуля), включена блокировка замка. Для разблокирования (рис. 21.13) следует нажать обе кнопки 5 и 6 (на плате В4 и В5). Вы можете проверить, что, нажимая только одну из кнопок, замок не разблокировать.

Приступая к отладке программы, следует помнить, что даже после завершения написания кода программы она еще не завершена. Поэтому программа должна быть максимально пригодна к завершающему этапу — проверке и отладке.

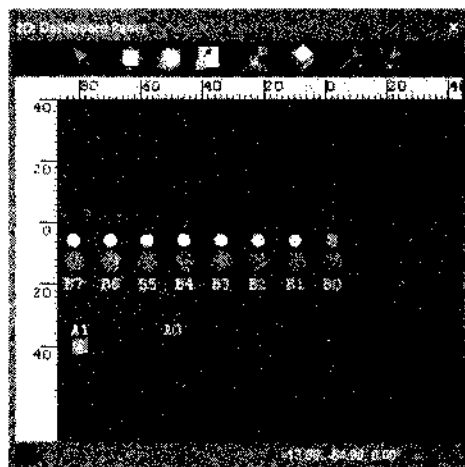


Рис. 21.12. Проверка работы программы

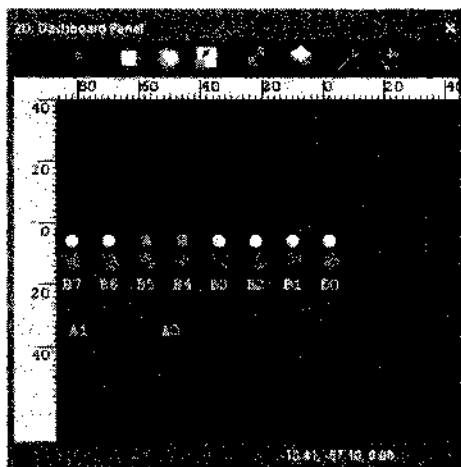
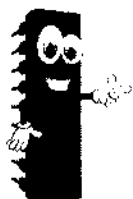
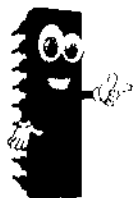


Рис. 21.13. Разблокирование замка

**ЭТО ВАЖНО.**

Для сложных программ было бы полезно написать небольшой план отладки. Отладка — это технологический процесс. При неправильном технологическом процессе вы получите неправильный результат. Да, для простой программы это не так существенно — ошибка быстро обнаружится. Но, привыкая к поспешной работе, вы и в сложной программе постараетесь быстро не заметить возможные ловушки или слабые места. Написать небольшой план работы недолго. И эта привычка сэкономит вам время и силы в дальнейшем.

При отладке для кнопок в свойствах следует указать, что это кнопки с фиксацией. Без этого при отладке не получится нажать мышкой обе кнопки одновременно (рис. 21.14).

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

Кнопки, выпускаемые промышленностью, предназначены для использования в разных устройствах. Они имеют допустимое напряжение между контактами, которое может быть разным для постоянного и переменного тока, имеют допустимый коммутируемый ток. Кнопки могут выпускаться в конструкции с фиксацией положения, но могут не иметь фиксации. Кроме кнопок с замыкающими контактами, могут быть кнопки с переключающимися контактами.



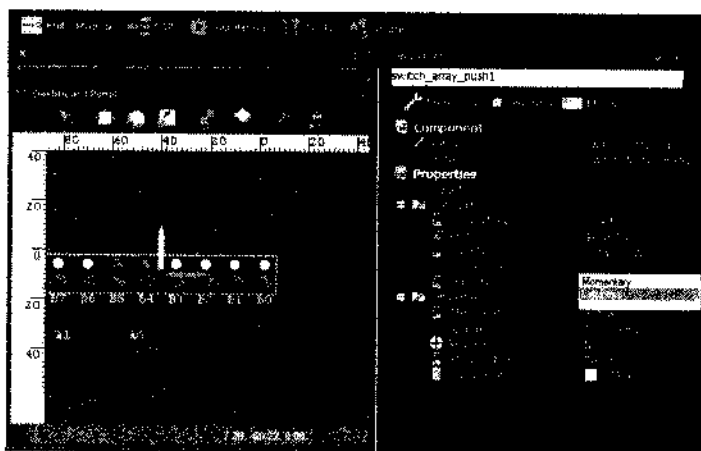


Рис. 21.14. Выбор режима работы кнопок

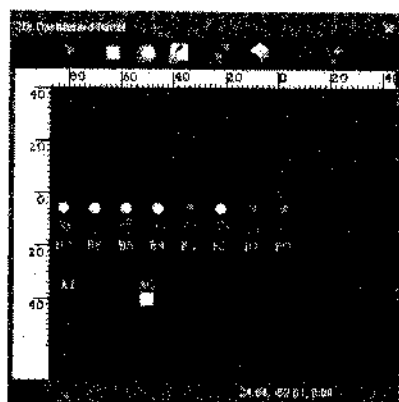


Рис. 21.15. Работа программы при правильном наборе кода

И, наконец, можно проверить правильный набор кода. Если теперь сделать кнопки без фиксации, то результат будет выглядеть иначе, но так нагляднее (рис. 21.15).

**Радиолобитель:** Программа работает, нужно ли еще что-то делать или переделывать?

Если программа продумана заранее, если до написания кода программы все ее аспекты тщательно выписаны, предусмотрены разные варианты развития событий, если вы сделали все, что могли, то, скорее всего, работу можно завершить. Нет смысла пытаться сделать что-то идеальное раз и навсегда, подправляя и добавляя что-то.

Другое дело, если при отладке или пользовании устройством, вы заметили явные **недостатки**, а для их устранения достаточно **подправить программу**, тогда правка вполне обоснована.

### СОВЕТ.



Если же правка приводит к необоснованному изменению текста программы, то лучше написать программу заново. При этом не следует забывать, что хорошо работающие блоки программы можно копировать в новую версию программы.

В данном случае, выясняется при отладке, что кнопки 5 и 6 выделены нами для разблокировки. Но нажатием на эти кнопки по отдельности мы не вызываем блокировку замка. Что, точно, можно отнести к недостаткам схемы.

Добавим еще одну булеву переменную, флажок `flk`, который будем устанавливать, когда включен режим блокирования. Создадим еще два макроса для кнопок 5 и 6 «по образу и подобию» макросов для других кнопок, учитывая при этом особенности кнопок (рис. 21.16).

Когда кнопки 5 и 6 «уравняли в правах» с остальными кнопками, появилась необходимость в добавлении паузы и установки состояния этих кнопок в исходное. Потребность в этой переделке стала заметна при отладке. Без переделки состояние кнопок не успевало меняться. Видимо, полезно это добавить везде, где происходит разблокирование замка (рис. 21.17).

При написании кода программы далеко не всегда получается «переключиться» с логики выполнения команд на реальное их выполнение. Мы часто, например, забываем, что нам для нажатия кнопок нужно время, пусть небольшое, не более 0,3 секунды. Но для микроконтроллера, который способен выполнить команду за доли микросекунды, подобный интервал времени — это целый месяц ожидания для нас.

Иногда мы забываем, что кнопки, как устройства коммутации, способны «дребезжать». Логика их работы проста: нажал-включил,

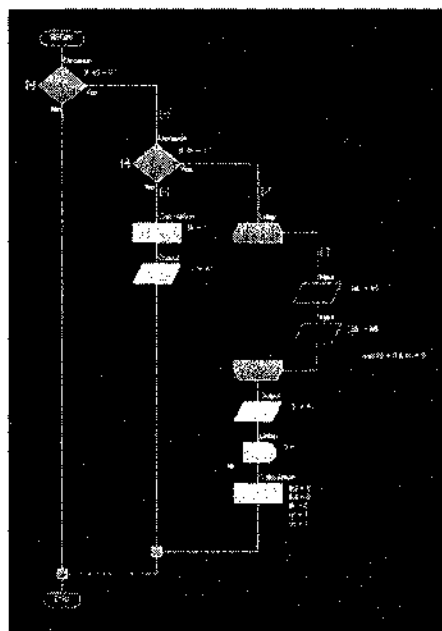


Рис. 21.16. Макрос для кнопки 5  
(для кнопки 6 можно скопировать  
и подправить)

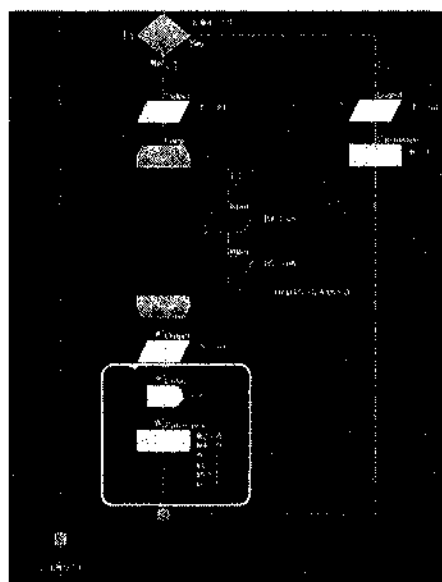


Рис. 21.17. Переделка для кнопки 1  
(и других)

отпустил-выключил. Однако в логике «нажал» есть реальный аспект — контакты при нажатии могут замкнуться, разомкнуться и вновь замкнуться. Такое поведение контактов особенно характерно для контактов реле. Но и не только. Так же может вести себя и клавиша мышки после нескольких лет исправной работы. А у мышки под клавишей та же кнопка, которую нажал-включил, отпустил-выключил.

Обратите внимание на звездочки возле компонентов. Они означают, что компонент исправлялся, но программа не сохранялась. Не забывайте об этом!

Следует ли на этом остановиться? Можно, но можно усовершенствовать работу замка.

## || Модификация кодового замка || на микроконтроллере

В предыдущей версии мы использовали фиксированный набор кнопок для кода и сброса блокировки. Чтобы изменить этот набор, придется исправить программу и перепрограммировать микроконтроллер. Гораздо удобнее было бы менять код доступа и кнопки разблокирования замка без перепрограммирования.

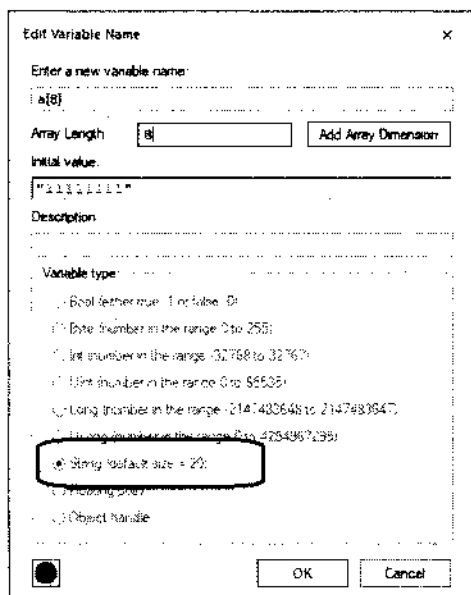
## || Изменение || кода

Разобьем эту задачу на подзадачи. Начнем с подзадачи ввода нового набора кнопок. Суть процедуры такова: мы добавим кнопку внутри помещения, при нажатии и удержании которой замок перейдет в режим ввода нового набора кода.

Идея ввода нового кода проста — нажимаем кнопки и запоминаем их, чтобы использовать впоследствии. И первое, что приходит в голову — прочитать кнопки в одномерный массив байтов. В программе Flowcode такому массиву соответствует строковая переменная. Создадим переменную, задав начальное значение: "11111111" (рис. 21.18).

Здесь уместно напомнить, что в программе Flowcode 8 можно использовать два стиля, светлый и темный. Переключение можно найти в основном меню *VIEW→Style→Light* (или *Dark*).

При использовании светлого стиля программы, возможно, потребуются правка многих элементов графического отображения. На темном фоне эти элементы выглядят яркими и понятными, а на светлом фоне они теряют свою выразительность.



**Рис. 21.18.** Создание массива для считывания кнопок

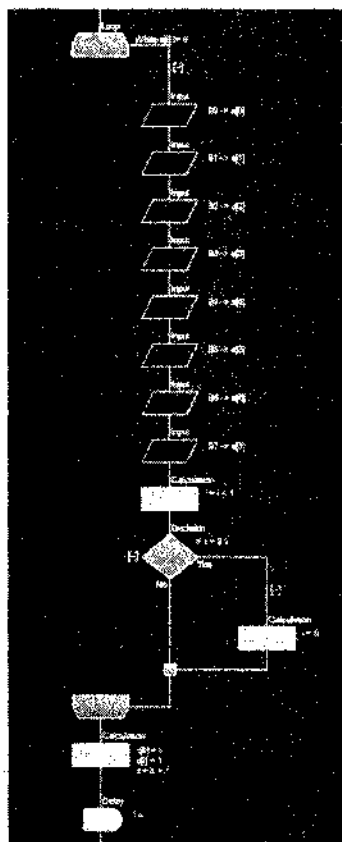
Впрочем, единожды внеся исправления, если вам больше нравится светлый стиль, вы можете не переходить к темному варианту, и вам не потребуется новых переделок.

Создав строковую переменную (одна же одномерный массив данных), перейдем к считыванию кнопок для кода замка и кнопок сброса блокировки (макрос *Code\_input*). Эти кнопки нажимаем последовательно: первая кнопка кода, вторая, третья, первая кнопка разблокирования и т. д.

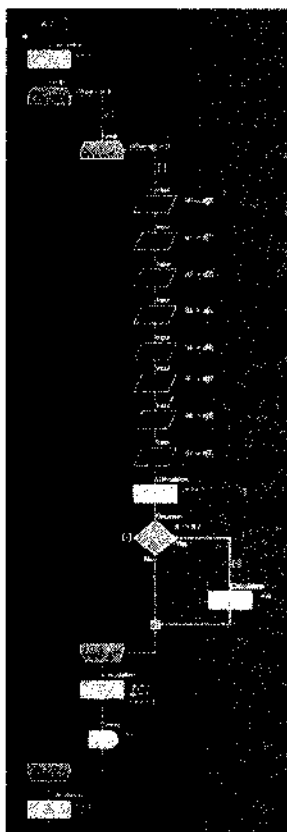
Последними нажимаем «фальшивые» кнопки, которые будут блокировать замок (рис. 21.19).

Вы можете, конечно, придумать другой способ задания кнопок кода и кнопок блокировки. Придумывание своих методов, приемов и подходов к решению разных вопросов — это, наверное, самая интересная часть работы над любым устройством.

И следует сказать, что не только самая интересная, но и самая полезная. Если бы люди не начинали задумываться: нельзя ли что-то изобрести свое, — то, скорее всего, не было бы ни колеса, ни лука со стрелами. Не говоря о планшетах и смартфонах. Зачем смартфон, если взял дубинку, огрел ею «будущую еду», съел и доволен.



**Рис. 21.19.** Начало работы над программой записи кнопок кода



**Рис. 21.20.** Запись номеров нажатых кнопок в другой массив



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Знать существующие решения всегда полезно и даже необходимо. Нет смысла «изобретать велосипед». Но пристроить к нему мотор, чтобы получить мотоцикл – это тоже было неплохо.*

Вернемся к программе.

Индекс, по которому идет обращение к элементам массива, байтовую переменную  $i$  мы, конечно, создали заранее. Внутренний цикл *While(Loop)* работает до тех пор, пока не нажата кнопка (считывается ноль,  $\text{while } a[i] \neq 0$ ). После этого начинает работать внешний цикл перезаписи номера кнопки в другой массив  $c[8]$ , его мы тоже создали заранее (**рис. 21.20**). Этот цикл работает с условием:  $k \neq 8$ .

Конечно, вместо первого массива можно было использовать переменные, но, мне кажется, удобнее воспользоваться одномерным массивом.



### СПРАВКА.

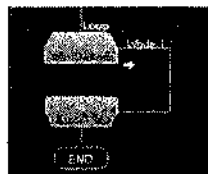
**Массив** (в некоторых языках программирования также таблица, ряд, матрица) – структура данных, хранящая набор значений (элементов массива), идентифицируемых по индексу или набору индексов, принимающих целые (или приводимые к целым) значения из некоторого заданного непрерывного диапазона. Одномерный массив можно рассматривать как реализацию абстрактного типа данных – вектор.

**Размерность массива** – это количество индексов, необходимое для однозначной адресации элемента в рамках массива. По количеству используемых индексов массивы делятся на одномерные, двумерные, трехмерные и т. д.

*Википедия*

Для отладки я использовал бесконечный цикл, который завершает эту программу (рис. 21.21).

Дело в том, что, создавая программу, ты, как правило, находишься в положении, когда что-то предполагаешь, но без проверки эти предположения могут привести к ошибке. Запустив отладку, можно регулировать скорость работы программы. При низкой скорости происходит пошаговый переход от команды к команде, что удобно в одном случае, но слишком долго работает в другом. Можно наблюдать за значениями переменных при пошаговом проходе, но при большой скорости отладка завершается, а значения наблюдаемых переменных видны тогда, когда программа приостановлена во время выполнения.



*Рис. 21.21.  
Завершение  
программы*

## Некоторые особенности отладки

При отладке не всегда удастся выбрать подходящий режим работы. Получается, что и так нехорошо, и эдак совсем не то. В некоторых средах разработки, например, в среде работы с модулями Arduino в подобной ситуации можно использовать вывод данных на монитор, используя команду `Serial.println (имя_переменной)`. По завершении отладки эти строки легко убрать из готового текста.

В данном случае, задавая бесконечный цикл, который ничего не делает, я могу приостановить программу и увидеть все переменные (рис. 21.22).

Добавление паузы в одну секунду связано с тем, что программа работает очень и очень быстро. Пока вы быстро нажали кнопку (как вы считаете), программа прочтает ее много раз, записав весь массив номером одной кнопки. И эту паузу можно сделать чуть больше, если вам так удобнее.

То, как удобнее, скорее всего, определится при реальном использовании устройства. Так бывает всегда, поскольку моделирование за компьютером, сидя в мягком кресле, это одна история, а возвращение домой или поход к гаражу, где установлен кодовый замок, когда вы нагружены чем-то, что нужно дома или в гараже — это совсем другая история.

Я нажимал кнопки от нулевой до седьмой. Кстати, в предыдущей версии я обозначал кнопки от 1 до 8, но удобнее их обозначать от 0 до 7, то есть, так, как индексируются элементы массива и выводы порта.

На этом этапе не лишним будет проверить другие последовательности нажатия кнопок. Попробуем повторить код 241 и 56 предыдущей версии (теперь это 130 и 45 плюс 267), чтобы убедиться в правильности набора (рис. 21.23).

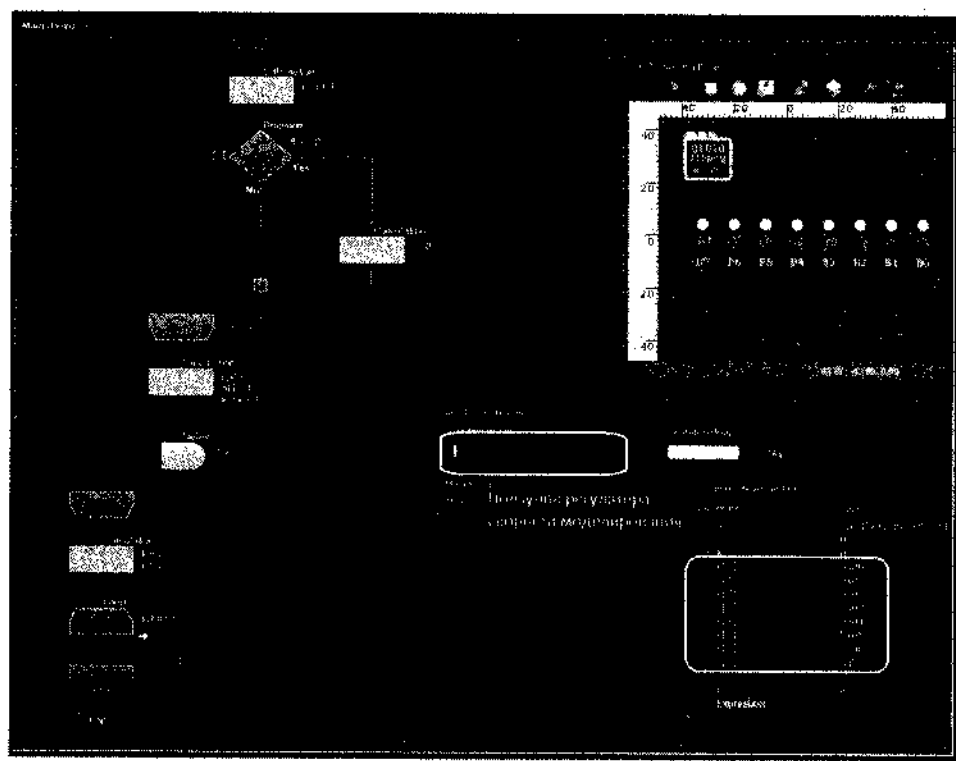
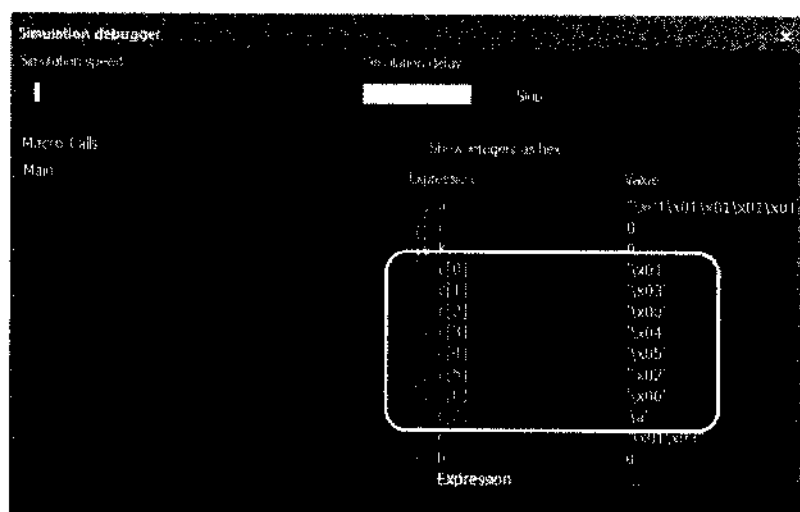


Рис. 21.22. Наблюдение за переменными в программе





Если вам понравилось работать с программой Flowcode, но появляются вопросы, вы можете обратиться за помощью на форум.



Вы, наверное, обратили внимание на содержимое элемента массива `c[7]`. Вместо номера кнопки 7 мы видим «\a».

Пока я не сообразил, что в таблице кодов ASCII под номером 7 существует этот символ (массив — это строка символов), я некоторое время не мог понять происходящее. Чтобы проверить, так ли это, используем переменную `b` типа байт (рис. 21.24).

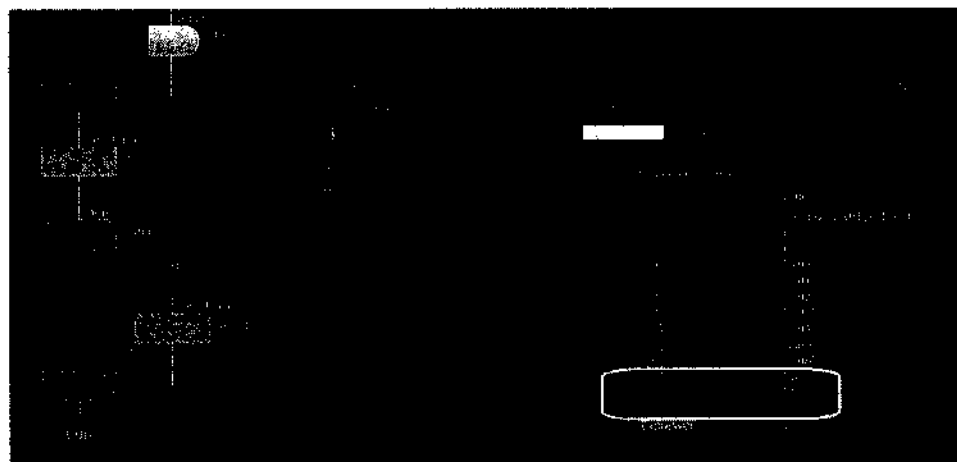


Рис. 21.24. Что в элементе `c[7]`?

В строковой переменной «7» — это «\a», а в байтовой переменной — 7. Мы получили массив, где записаны все нужные коды. Но это еще не все.

**Радиолобитель:** *Что будет, если питание отключится? Скажем, произошло то, что в быту мы называем «свет мигнул». Так бывает при переключениях на подстанциях или других штатных процедурах энергосети.*

Записанные в массив данные пропадут, и замок не открыть! Таким образом, что было ясно изначально, код следует хранить в энергонезависимом блоке памяти.

Добавим на рабочую панель еще один компонент, EEPROM (он на инструментальной панели *Storage→EEPROM*), «подцепив» его левой клавишей мышки. В программу добавим следующий код (рис. 21.25).



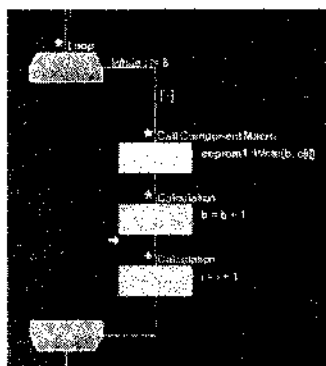
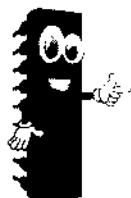


Рис. 21.25. Добавление фрагмента записи кода в EEPROM



### СПРАВКА.

**EEPROM** (англ. *Electrically Erasable Programmable Read - Only Memory*) – электрически стираемое перепрограммируемое ПЗУ (ЭСППЗУ), один из видов энергонезависимой памяти (таких, как PROM и EPROM). Память такого типа может стираться и заполняться данными до миллиона раз.

На сегодняшний день классическая двухтранзисторная технология EEPROM практически полностью вытеснена флэш-памятью типа NOR. Однако название EEPROM прочно закрепилось за сегментом памяти малой емкости независимо от технологии.

Википедия

Проверить правильность записанных данных в память можно с помощью виртуальной консоли (**VIEW→Console**). Предварительно в

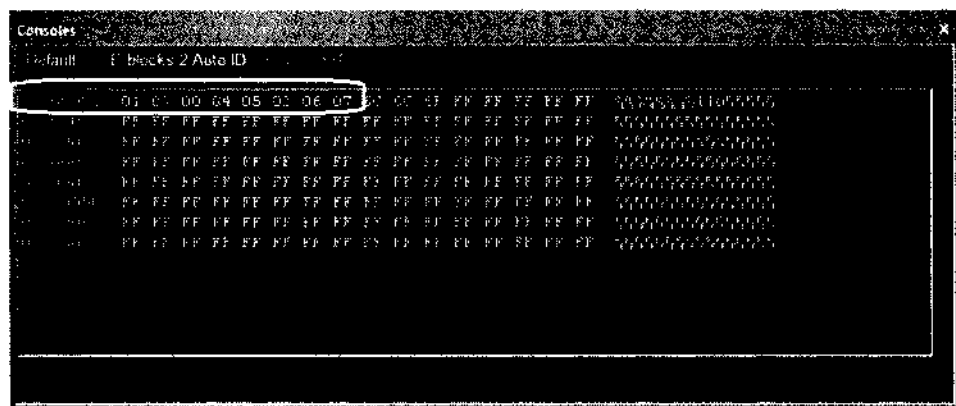


Рис. 21.26. Проверка записи в EEPROM

массив `s[8]` был записан код 130 45 267 (рис. 21.26).

Теперь можно удалить из программы все элементы отладки, чтобы использовать эту подпрограмму в макросе ввода, который мы назовем *Code\_input* (рис. 21.27). Перед этим я хочу добавить еще один штрих — при вводе кода использовать зеленый светодиод: зажигать его перед паузой и гасить после паузы, а в конце ввода кода зажжем его и погасим через 2 секунды. Так будет удобнее работать при вводе кода: нажав кнопку, мы видим, что светодиод мигнул, а при правильном наборе еще и погорел подольше.

Зачастую, озаботившись решением одной проблемы, забываешь, что решение этой проблемы может привести к появлению новой. Мы придумали как «сберечь данные» для правильной работы нашего устройства. Но, если бы мы не продумали порядок действий обычного человека при вводе этих данных, то пришлось бы править программу, когда при первой же попытке записать код мы не смогли бы открыть замок. Такое случается, если, нажав кнопку, мы не убедились бы, что она действительно нажата, а не слегка придавлена. А такое случается чаще, чем об этом задумываешься.

Во многих случаях, когда имеешь дело с устройством, задуманным для использования людьми, следует помнить, что люди бывают разные, что люди бывают в плохом настроении или бывают рассеяны. Позаботится о людях в их разных состояниях и разнообразии характеров — это задача разработчиков.

Получился очень «длинный» рисунок подпрограммы, пришлось его здесь на странице разбить на два.

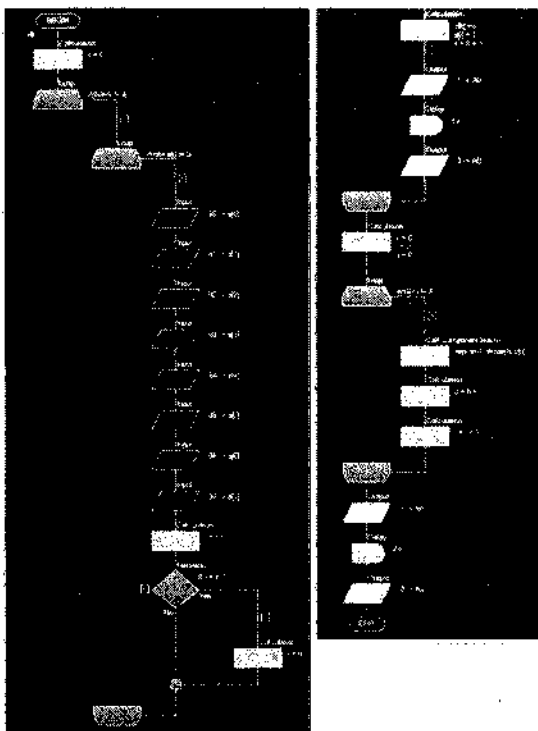


Рис. 21.27. Подпрограмма смены кода

## Использование записанного кода

После решения подзадачи записи нового кода программа должна перейти в режим ожидания ввода кода при открывании замка. Правда,

следует еще подумать о том, как к этому перейти, поскольку мы записали новый код только в EEPROM, но мы сделаем это немного позже. А сейчас будем считать, что новый код записан в одномерном массиве, положим `c[8]`, где первые три ячейки — это код открывания, далее номера двух кнопок для разблокирования и т. д. Соберем подпрограмму считывания состояния кнопок клавиатуры в массив `a[8]` по образцу этого процесса для предыдущей версии замка. Назовем эту процедуру *input\_key* (рис. 21.28).

Цикл работает до тех пор, пока не нажата кнопка. Затем в байтовую переменную `in_key` записывается номер нажатой кнопки. Пауза в одну секунду нужна для того, чтобы записать этот номер один раз, после чего мы должны разобраться, что за кнопка была нажата?

Не мы, конечно, а программа, обрабатывающая нажатие кнопки. Но помочь ей в этом — наша задача. Не так ли? А нам в этом поможет наш опыт, который мы, надеюсь, и вы тоже, приобрели к этому времени. Кстати, если вы намерены, и имеете возможность, пользоваться программой Flowcode, вам будет полезно придумывать свои программы. Чем больше программ вы создадите в этой среде разработки, тем лучше будете знать все возможности и особенности программы.

**Радиолобитель:** Так что же с кнопками?

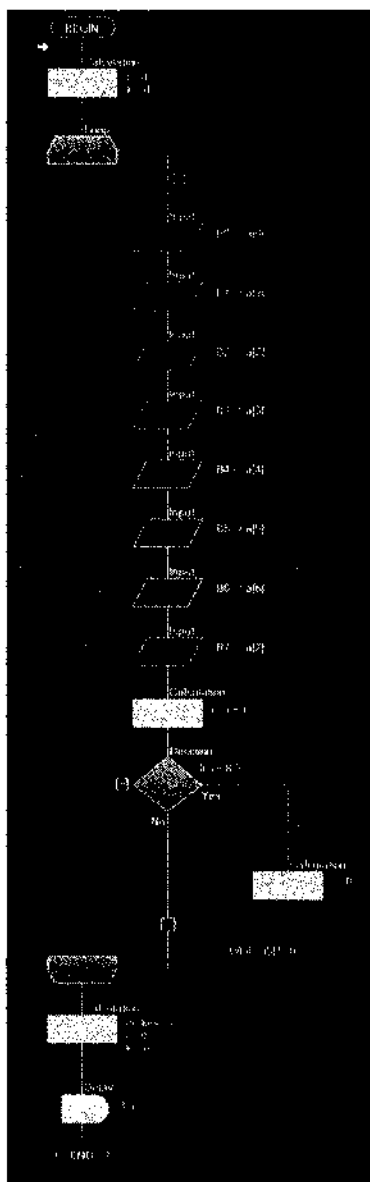


Рис. 21.28. Рабочая подпрограмма для реализации ввода кода

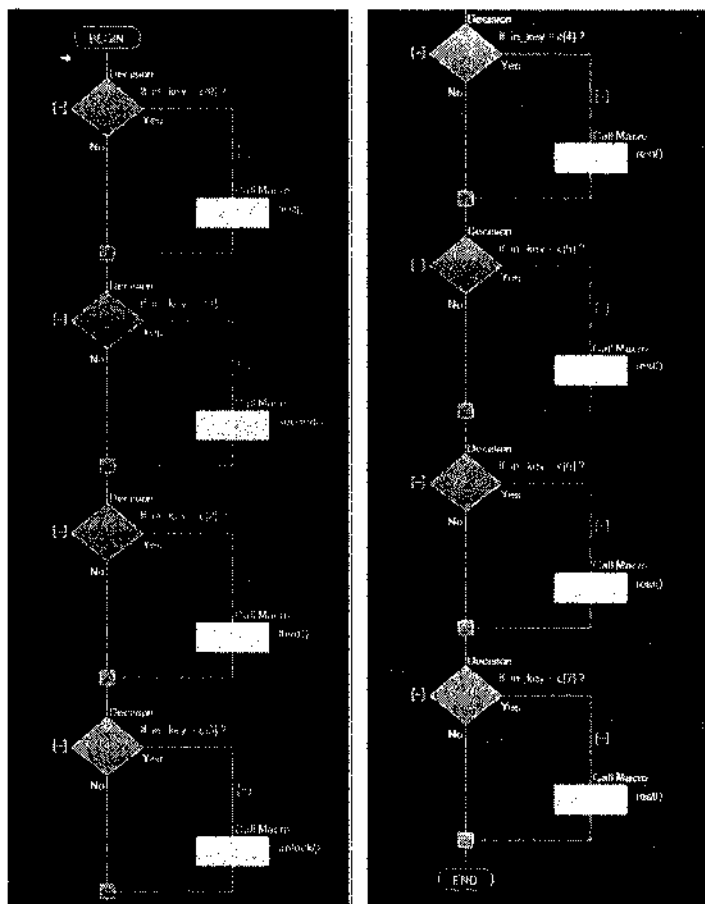


Рис. 21.29. «Декодирование» нажатой кнопки (определение, какая из кнопок была нажата)

Обработку нажатых кнопок мы сделаем в макросе, который назовем *Decode\_key* (рис. 21.29).

Этот рисунок пришлось тоже разбить на две части, поскольку программа позволяет уменьшить изображение, но тогда не будет видно надписей. Это имеет место и в самой программе Flowcode, когда приходится добавлять длинную последовательность операторов.

В нашем случае последовательность операторов представлена повторением ветвления программы. Вы можете попробовать заменить эту последовательность оператором *Switch*. Не то, что он работает лучше, но он упрощает вид этого фрагмента программы. Для этой цели его и придумывали. Если, конечно, такая замена получится.

Сравнение номера нажатой кнопки с тем, что записан в массиве *c[i]*, вызывает соответствующую подпрограмму. Рассмотрим эти подпрограммы по порядку.

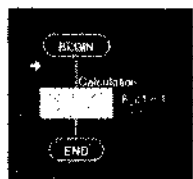


Рис. 21.30. Макрос обработки первой кнопки кода открывания

Начнем с макроса **first** (рис. 21.30).

Названия подпрограмм, как вы могли заметить, отображают функциональное назначение нажатых кнопок:

- первая кнопка правильного кода, вторая, третья;
- кнопки разблокировки замка;
- остальные, «фальшивые» кнопки, которые можно было назвать кнопки-ловушки.

#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*И, заметьте, эти названия отображают последовательность ввода данных в массив, записанный в энерго-независимую память микроконтроллера.*

Первая подпрограмма очень лаконична — устанавливаем флажок `F_c1`, свидетельствующий о том, что нажата первая цифра правильного кода. После этого программа возвращается к ожиданию ввода второй кнопки и переходит к «декодированию».

Краткость этой подпрограммы основана на том, что первая нажатая кнопка правильного кода не должна выполнять никаких дополнительных действий.

#### ЭТО ВАЖНО.

*Если вы реализуете свою разработку, то, надеюсь, ведете «журнал наблюдений», используете рабочую тетрадь, скажем, в электронном виде. В этом месте я бы записал примечание: любой злоумышленник, а они люди ушлые, сообразит, что нажата правильная кнопка. Он может сообразить, что, выключив свет в квартире, если кодовый замок у вас для квартиры, он обнулит работу замка, выявив правильную кнопку. Поэтому запишем: предусмотреть резервное питание контроллера от батарейки «Крона» при выключенной сети, и не использовать сброс контроллера при включении питания.*

Предположим, что нажата вторая кнопка правильного кода. Обрабатываем ее в макросе **second** (рис. 21.31).

Проверяем, установлен ли флажок первого номера кода, то есть, нажата ли первая «правильная» кнопка, если так, то устанавливаем флажок `F_c2` второй «правильной» кнопки. Иначе зажигаем красный светодиод (вывод `A1` переводим в единицу) и устанавливаем флажок

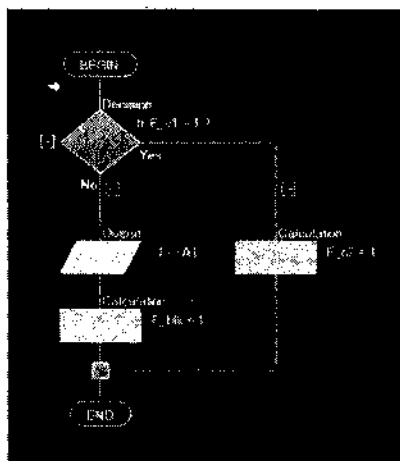


Рис. 21.31. Подпрограмма обработки второго значения кода

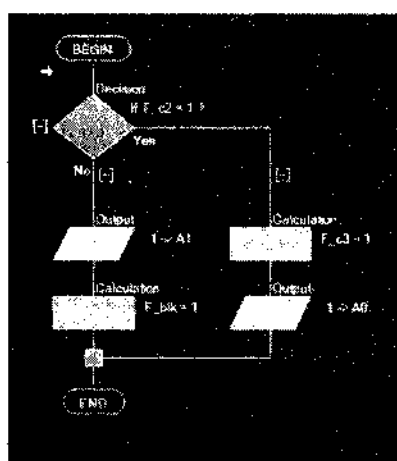


Рис. 21.32. Обработка полного набранного кода открывания замка

блокировки замка `F_blk`. Он позволит нам определять состояние замка в дальнейшем.

Но, предположим, что введен последний номер кода. Его мы обрабатываем в подпрограмме, которую назовем *third* (рис. 21.32).

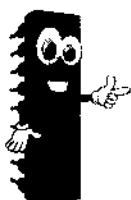
Собственно, этой подпрограммой завершается блок обработки открывания замка при вводе правильной последовательности кода доступа.

Можно было бы завершить и этот рассказ, возложив написание программы на читателей в качестве домашней работы, но допишем все до конца, чтобы не заблудиться в дальнейших рассуждениях.

Если перед нажатием этой кнопки была нажата вторая кнопка, то есть, установлен флажок `F_c2`, то мы открываем замок, переводя в единицу вывод `A0`. Если кнопка нажата до второй кнопки, мы зажигаем красный светодиод на выводе `A1` и устанавливаем флажок блокировки замка `F_blk`.

Следующим номером кнопки, который требует нашего внимания, будет номер первой кнопки разблокирования замка. И процедуру разблокирования замка мы опишем в макросе, который назовем *unlock* (рис. 21.33).

Я не уверен, что нельзя употреблять кириллицу в названиях. Но многие программы не любят этого, могут появляться странные ошибки при работе или при трансляции.



### СОВЕТ.

Легче использовать латиницу, что становится привычкой, даже если программа русифицирована.

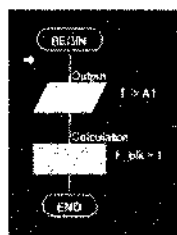


Рис. 21.34.

Подпрограмма  
блокирования замка

Я встречал трансляцию на язык Си для такой программы, где вместо названия компонентов программы были видны только вопросительные знаки. Не самый лучший вариант.

Здесь уместно сказать, что в первой модификации замка кнопки нажимались одновременно, тогда как здесь они нажимаются поочередно, при этом первая кнопка просто нажимается, а вторая удерживается до тех пор, пока не погаснет красный светодиод блокировки.

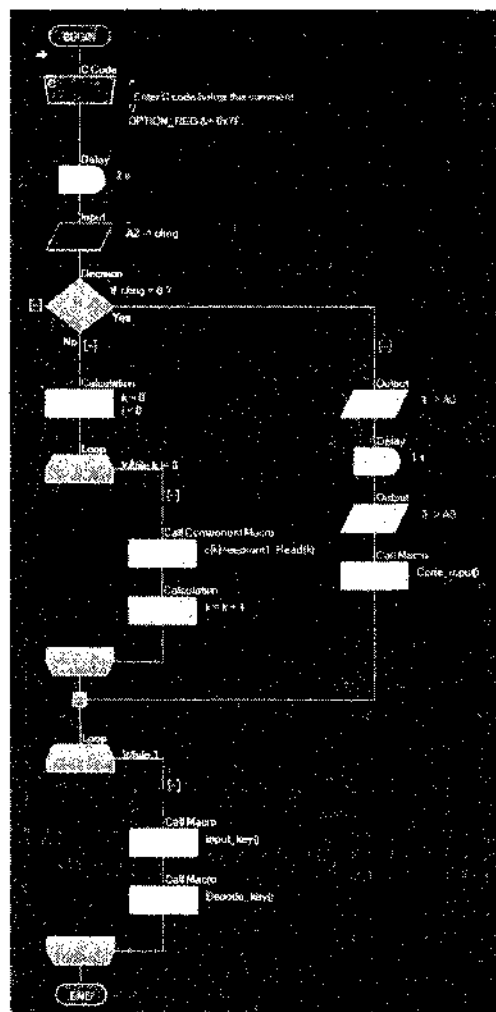


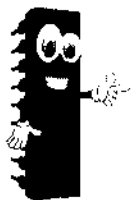
Рис. 21.35. Основная программа  
работы микроконтроллера

Ветвь правильного разблокирования начинается с ввода следующего номера кода разблокирования, а если нет, блокирование. При правильном вводе гасится светодиод и снимается код блокировки (и другие флаги). Вторая ветвь, если кнопка нажата случайно, блокирует замок.

Нажатием других кнопок (и неправильное нажатие кодовых кнопок) должно приводить к блокированию замка. Для этого служит макрос, который я назвал *rest* (рис. 21.34).

Подпрограмма лаконична — зажигаем красный светодиод, устанавливаем флажок блокировки.

Созданием этой подпрограммы мы завершили подготовительную часть кодирования и готовы написать основную программу *main* (рис. 21.35).

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

*«Кодирование» или «написание программы»... Привычка. Если кодирование можно отнести, положим, к языку ассемблер, а написание программы к языкам Си или Паскаль, то какие термины употребляют работающие с графическим языком программирования профессионалы, я не знаю. Поэтому по привычке использую термины, которые, скорее всего, к графическим элементам программы подходят плохо.*

Любая программа имеет основную часть, стержень, на который нанизаны все остальные элементы программы. *Main* еще называют **глобальной функцией**. Она обозначает и место старта программы.

Более того, процессор микроконтроллера, как любой микропроцессор, должен начинать свою работу с чтения первой команды, которую, как правило, записывают либо в ячейку программной памяти с нулевым адресом, либо в ячейку с наибольшим адресом. Без этого процессор не может отличить команду от данных, например, числа, с которым нужно проделать математическую операцию. Поэтому и программа должна иметь главную команду, с которой микроконтроллер начинает свою полезную работу.

Если кнопка ввода нового кода нажата (переменная *chng* равна нулю), то мы переходим к вводу новых кодов для открывания замка и разблокирования замка. Иначе мы должны прочитать коды из EEPROM в массив данных (*c[k]*) и перейти к ожиданию ввода с клавиатуры и обработки введенного значения.

Этим завершается сборка кода программы и можно приступить к отладке.

## Отладка программы

Об отладке программы выше было сказано достаточно, можно прочитать еще и руководство, что всегда полезно, а более всего даст личный опыт. Но есть некоторые **нюансы**, о которых хотелось бы упомянуть.

Хотя начну я с другого. Проверая работу программы, далеко не всегда получается проверить все ситуации, которые могут возникать при работе с программой. Так при описании программы, когда она уже работала, я заметил, что упустил один момент (**рис. 21.36**).

Нажатием на «неправильную» кнопку замок был заблокирован, но это не помешало набрать правильный код, и замок открылся.



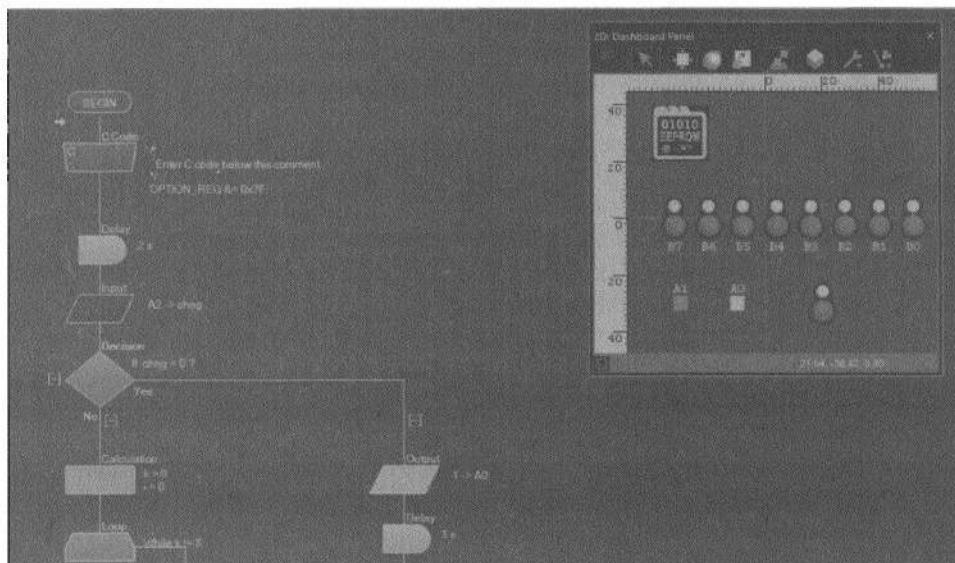


Рис. 21.36. Срабатывание замка при блокировке

### Радиолобитель: Вот так так!..

Мое увлечение лаконичной подпрограммой, когда нажатая кнопка не должна ничего делать, сыграло со мной злую шутку.

Но для этого и существует отладка программы. А еще и пробная эксплуатация устройства. Чем сложнее программа, тем дольше получается срок пробной эксплуатации.

Вероятно, большинство из вас пользуется операционной системой Windows. Перед реализацией этой очень большой программы (потому она и называется системой, что очень большая и сложная) ее тестирует армия пользователей.

Но, вы тоже это знаете, после реализации приходят **обновления**. Часть из них направлена на улучшение функционирования Windows, а часть исправляет что-то. Что-то, что «правильные пользователи», которые знают, что сначала надо сделать это, а потому уже остальное, армия тестеров программы не заметила. А мальчик, который не знал, все сделал наоборот. Замеченную неприятность тоже исправляют обновления.

А мы исправим недоработку небольшой переделкой макроса *first* (рис. 21.37).

Теперь, если замок заблокирован, ввести правильный код не получится. Но...

Вам может понравиться идея не вводить код разблокировки, а просто ввести правильный код. Тогда можно упростить программу, удалив все, что относится к разблокированию.

И вернемся к вопросу отладки программы. Основная программа начинается со вставки на языке Си, которую я сделал только тогда, когда проверял программу в ISIS (симулятор в Proteus). Запустив программу после настройки сборки проекта, я обнаружил, что входы порта В, что называется «висят в воздухе». В самой программе Flowcode этого не обнаруживалось. Поэтому отладку программы хорошо повторить и в другой программе (рис. 21.38). Для этого готовую программу, собранную в Flowcode, нужно оттранслировать. Это дает файлы с расширением .hex и .cof. И тот, и другой подходят для ISIS. Но второй удобен тем, что при отладке можно видеть исходный код на языке Си.

Даже текст программы на языке Си далеко не всегда просто связывается с уже готовой программой в графике, а отслеживать работу программы на ассемблере, для этого нужна хорошая практика использования ассемблера в работе.

Но, все-таки, язык Си ближе и по смыслу, и по «звучанию» к графическим элементам Flowcode.

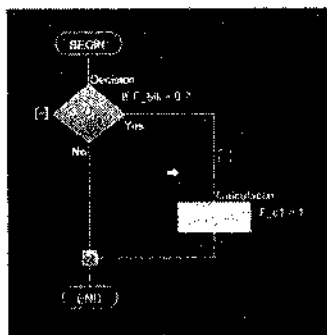


Рис. 21.37. Исправления макроса обработки нажатия первой кнопки кода

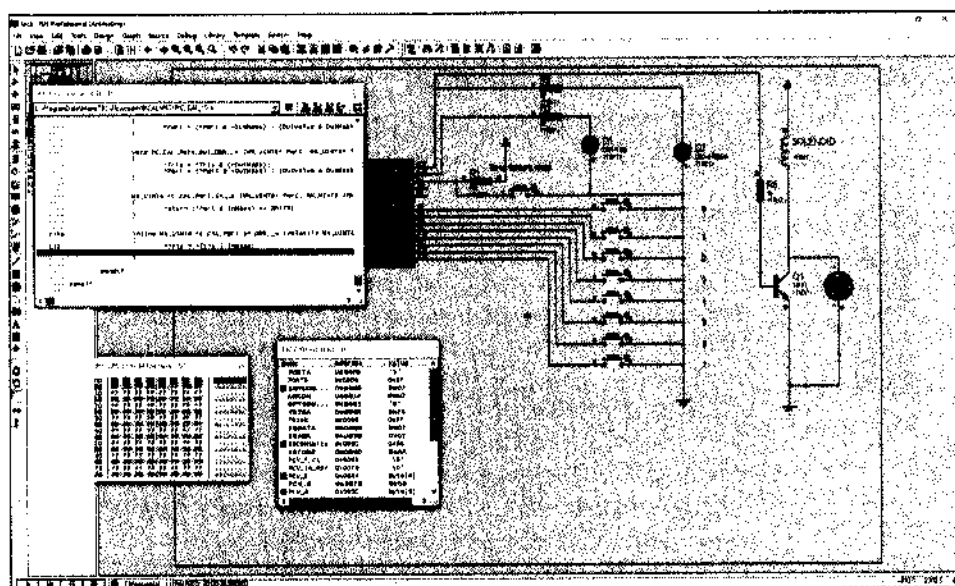


Рис. 21.38. Проверка программы кодового замка в Proteus (ISIS)



## ЭТО ВАЖНО.

Отладка программы в среде разработки Flowcode относится к отладке написанного кода программы. Пусть он «написан» и в форме графики. Но это не означает, что вам не надо знать ничего о микроконтроллере, для которого вы создаете программу.

Для каждой модели микроконтроллера есть сопроводительная документация, *datasheet*. В ней описано то, что принято называть «архитектурой», описано все, что необходимо для правильной работы микроконтроллера. И с этой документацией нужно обязательно ознакомиться.

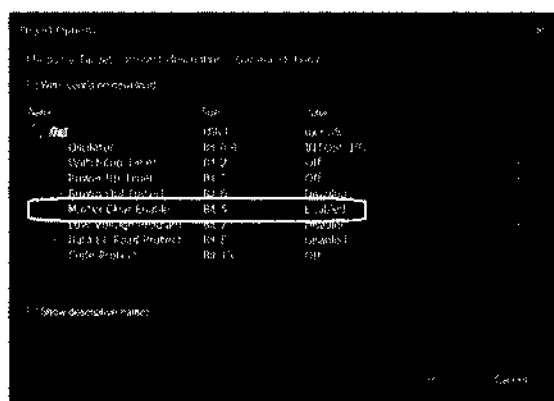
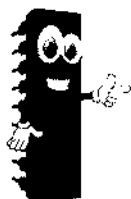


Рис. 21.39. Слово конфигурации в программе Flowcode

Так, проверка напомнила мне, что нужно правильно записать слово конфигурации (**BUILD** → **Project Options**) для микроконтроллера PIC16F628A (рис. 21.39). Закладка **Cofigure**.



## ПРИМЕЧАНИЕ.

Описание конкретной модели микроконтроллера может занимать несколько сотен страниц. Может занимать более тысячи страниц. Как правило, это текст на английском языке. Я часто использую описание работы с микроконтроллером PIC16F628A по причине того, что это не самый сложный микроконтроллер. Но и по другой причине – в Интернете можно найти перевод описания этого микроконтроллера на русском языке. Для начинающих, мне кажется, это очень важно.

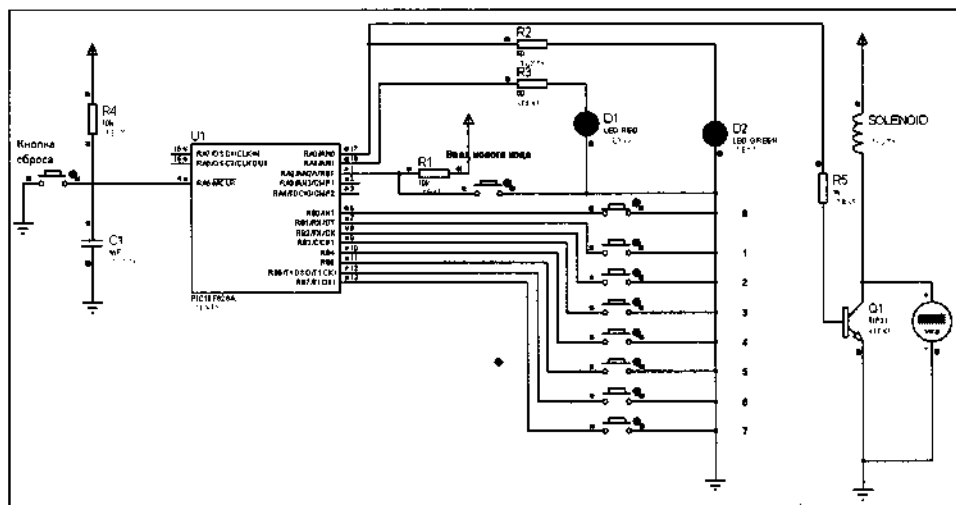
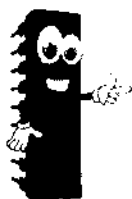


Рис. 21.40. Проверка работы кнопки сброса в помещении

Моя оплошность обнаружилась тогда, когда я проверял работу кнопки сброса. Без разрешения использовать сброс контроллера эта кнопка бесполезна (рис. 21.40).



### СОВЕТ.

Кстати, если вы решили обезопасить себя от злоумышленников, конденсатор C1 в схеме на рис. 21.40 устанавливать не следует. Именно этот конденсатор обеспечивает сброс контроллера в исходное состояние при включении питания. При подаче питающего напряжения на короткое время вывод сброса микроконтроллера оказывается подключенным к общему проводу. Пока конденсатор не зарядится, вход прочитывается как нулевое состояние. А этим нулевым состоянием и сбрасывается микроконтроллер.

Такая параллельная проверка дополнила программу рядом других деталей, о которых не всегда задумываешься сразу. И еще.

Когда-то, в ранней версии Flowcode я столкнулся с тем, что программный код получается слишком большим. То есть, код «не влезает» в память микроконтроллера. Мне помогло обращение к среде разработки этого контроллера от фирмы-производителя. Проблема заключалась в том, что программа Flowcode использовала библиотеки полностью, а программа от производителя выбирала только нужные функции из библиотек. В данном случае можно сгенерированный Flowcode код на языке Си использовать в среде MPLAB X (рис. 21.41).

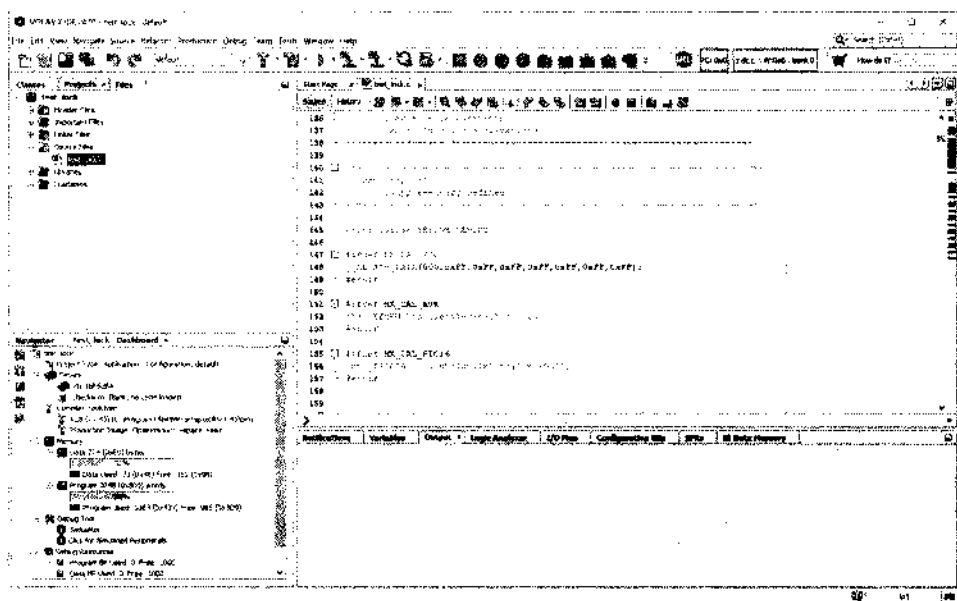


Рис. 21.41. Программа кодового замка в среде MPLAB X

Даст ли это оптимизацию кода с целью экономии программной памяти микроконтроллера, это предстоит выяснить либо опытами с пробными программами, либо на практике, когда такая проблема возникает.

Не исключено, что сегодня программа Flowcode использует оптимизацию сгенерированного кода так, что использование перетрансляции в другой среде разработки не даст выигрыша. В этом случае, если программа не «влезает» в микроконтроллер, нужно использовать другой контроллер для случая, когда изменить программу, убрав желаемое, но не обязательное из нее, не получается.

Для реализации этой версии можно использовать любые слаботочные кнопки. Если нет претензий к повышенной надежности, можно использовать такие кнопки (рис. 21.42) от Алиэкспресс. Стоимость решения представлена в табл. 21.3.

Стоимость решения

Таблица 21.3

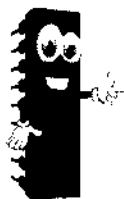
Компонент	Количество	Стоимость, руб.
Микроконтроллер PIC16F628A	1	70
Кнопки	10	63
Плата для монтажа	2	160
Коробка	2	300

Итого: 593 руб.



Этот вариант триггера имеет вход данных (D), вход тактирования (>) и вход сброса (R). У него единственный выход Q. Мы использовали другую модель, имеющую вход установки (S) и инверсный выход, дополняющий прямой выход. Этот и другие примеры приведены с использованием программы QucsStudio (можно использовать Qucs).

В цифровой технике используют несколько разновидностей триггеров. Эту называют еще триггер-защелка.

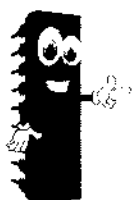


### СПРАВКА.

*Триггер (триггерная система) — класс электронных устройств, обладающих способностью длительно находиться в одном из двух устойчивых состояний и чередовать их под воздействием внешних сигналов. Каждое состояние триггера легко распознается по значению выходного напряжения. По характеру действия триггеры относятся к импульсным устройствам — их активные элементы (транзисторы, радиолампы) работают в ключевом режиме, а смена состояний длится очень короткое время.*

Википедия

То, как работает триггер, удобно рассмотреть на примере симметричного триггера на транзисторах (рис. 21.44).



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Эта схема представлена не в качестве готового к повторению устройства, а в целях ознакомления с работой триггера. Если бы в схеме были реальные транзисторы, то после включения питающего напряжения один из транзисторов перешел бы в открытое состояние, закрывая второй транзистор.*

Но у нас идеальные элементы, то есть, схема абсолютно симметрична, поэтому при включении питающего напряжения схема находится в неопределенном состоянии, что отмечено на диаграммах (рис. 21.44). Вы можете сравнить работу схемы, заменив идеальные транзисторы моделями реальных транзисторов, например, 2N2222A, а диоды — заменить моделью 1N4148.

После прихода следующего импульса один из транзисторов открывается. Это закрывает второй транзистор, поскольку конденсатор в цепи коллектора этого транзистора прикладывается между общим проводом и

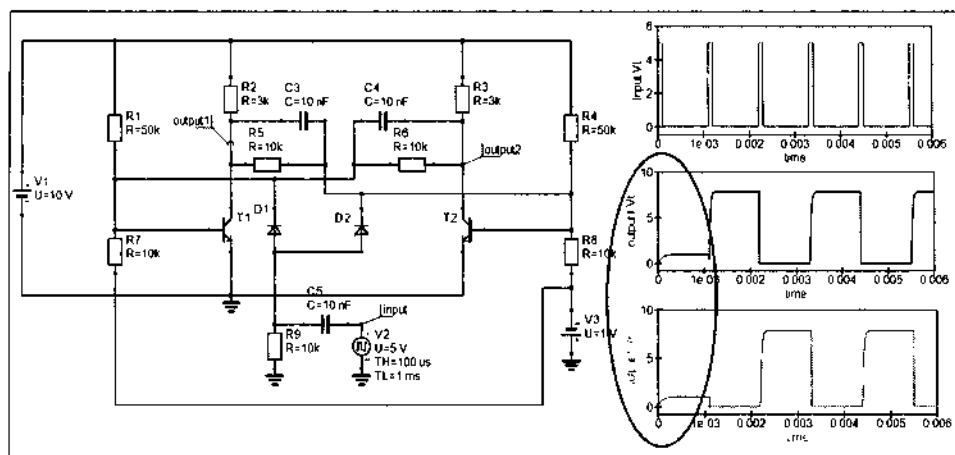


Рис. 21.44. Симметричный триггер на биполярных транзисторах

базой второго транзистора, а заряжен конденсатор так, что напряжение на нем закрывает транзистор. Следующий импульс открывает второй транзистор, закрывая первый. Иными словами, устройство имеет два устойчивых состояния, изменить которое можно управляющим сигналом.

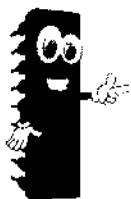
О том, что микроконтроллеры удобно применять в устройствах автоматики, уже говорилось, но не только автоматика сфера применения микроконтроллеров. Они часто используются в современных измерительных устройствах. Так, мы применили микроконтроллер в индикаторе разряда аккумулятора, а сейчас использовали для реализации кодового замка. Микроконтроллер можно представить так: есть микропроцессор, осуществляющий набор операций, предусмотренных разработчиками микроконтроллера; и есть порты ввода-вывода, которые можно настроить при программировании контроллера. У контроллера есть внутренняя энергонезависимая память для записи программы, и есть оперативная память для работы с переменными.

**Программа в представлении для микропроцессора** — это набор двоичных чисел. Одни числа — это команды, другие числа — данные для операций с ними. Программа всегда начинается с команды (операции), в которой может быть указание на то, что в следующих ячейках памяти хранятся данные для выполнения операции. А может быть указание, где расположены данные, то есть, адрес расположения данных.

Для выполнения операции данные располагаются во внутренних регистрах микропроцессора (фактически, внутренних ячейках памяти, адрес которых микропроцессору всегда известен). После осуществления операции результат вначале отправляется во внутренний регистр, часто один и тот же, который называют аккумулятором, а затем может храниться во внешней оперативной памяти.



Завершив операцию, микропроцессор возвращается к программе. В программе на месте возвращения обязательно должна быть следующая команда, потому что и команда, и данные — это все двоичные числа.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Если вместо команды окажется ячейка памяти с данными, то микропроцессор, считая ее командой, сделает не то, что нужно, или не сделает ничего, впад в свой микропроцессорный «ступор». Про компьютер в подобном случае говорят, что он «завис».*

Любая программа для микропроцессора имеет ряд стандартных операций, как то:

- ♦ операция присваивания, когда переменной присваивается какое-то значение;
- ♦ операция задания состояния вывода, если вывод предназначен к работе в качестве выхода;
- ♦ операция проверки состояния с разветвлением программы по результатам проверки;
- ♦ операция присваивания переменной значения, прочитанного на выводе, предназначенном работать в качестве входа и т. д.

Графические языки программирования имеют встроенные пиктограммы, отвечающие подобным операциям. Из этих пиктограмм можно составить полную программу работы устройства. По завершению сборки программы она транслируется на общий язык программирования, например язык Си, затем транслируется на ассемблер, и, наконец, транслируется в машинные коды, записанные в формате пригодном для работы с программатором. В данном случае речь идет о трансляции в бинарный или hex-файл.



#### СОВЕТ.

*Чтобы не чувствовать себя беспомощным при работе с устройствами на базе микроконтроллеров, следует хотя бы немного разобратся с программированием на языке ассемблера, более основательно разобратся с программированием на любом языке высокого уровня. И, если идея вам нравится, освоить язык графического программирования. Есть ряд бесплатных программ, использующих графическое программирование.*

# STM32F407, FLOWCODE 8 И ДРУГИЕ ДРУЗЬЯ ЛЮБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Не хотите  
обновиться?

Несколько лет назад я с удовольствием экспериментировал с модулем STM32F108. Недорогой модуль на базе мощного микроконтроллера. Сегодня появилась возможность провести опыты с еще одним модулем, STM32F407VGT6 (рис. 22.1).



**STM32F407VET6  
STM32F407VGT6**

STM32F407VET6 STM32F407VGT6 STM32 Системы модуль доска F407 однокристальная обучающая доска

★★★★★ 5.0 124 Отзывы 256 заказов(ов)

**525,31 руб.** с 21.04.2018 -4%

Цвета: STM32F407VGT6 1pc

STM32F407VET6 1pc STM32F407VGT6 1pc each type one pc

Количество: 1 + 100/24 шт. в упаковке

**Доставка: 121,53 руб.** в Russian Federation через Aliexpress Standard Shipping  
Расчетное время доставки: 15/08

**Купить сейчас** **Добавить в корзину** 344

 **Защита покупателя в течение 60 д.**  
Гарантированный возврат средств

Рис. 22.1. Модуль STM32F407VGT6 от EC Buying

С учетом того, что модуль комплектуется гребенками и кабелем для подключения к USB-порту, можно сказать, что цена вполне приемлема для любителей.

От STM32F108 данная модель, в первую очередь, отличается появлением новых возможностей, одна из которых — это наличие встроенного цифро-аналогового преобразователя. С опытов с этим встроенным модулем и начнем.

## Испытательные сигналы разной формы

В любительской практике часто приходится иметь дело с генератором и осциллографом. Всегда ли в лаборатории любителя есть функциональный генератор? Не уверен. Между тем ЦАП позволяет получить сигналы разной формы. Давайте это и проверим.

Суть работы ЦАП в том, что в его регистр записывается число, а преобразователь устанавливает на выходе модуля напряжение соответствующего значения. Для 12-разрядного ЦАП число, записываемое в регистр, колеблется от 0 до 4095, а напряжение на выходе изменяется от нуля до напряжения питания. Повторяя эту процедуру многократно, можно получить сигнал...

Впрочем, начнем с создания нового проекта в программе Flowcode 8 для модуля STM32F407VG. На рабочую панель добавим ЦАП (рис. 22.2).

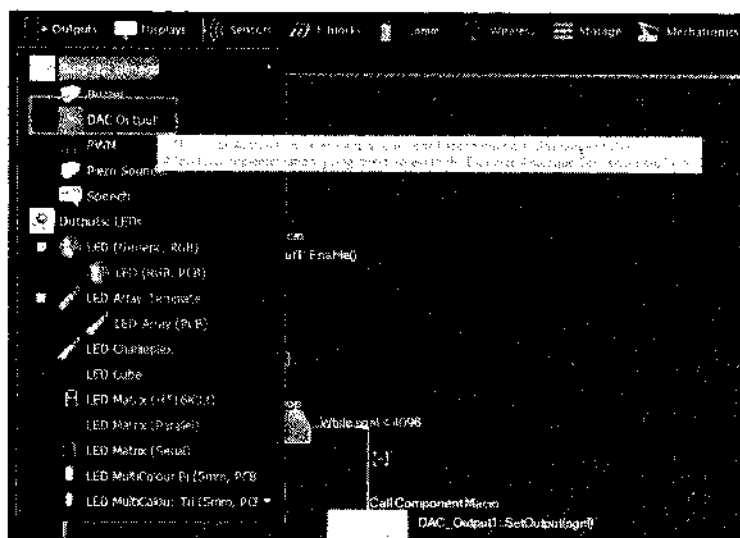


Рис. 22.2. Цифро-аналоговый преобразователь для рабочей панели



### ПРИМЕЧАНИЕ.

Для работы с подпрограммами (Component Macro), обслуживающими встроенные модули микроконтроллера и другие полезные модули, эти модули надо добавить на рабочую панель (Dashboard Panel). После добавления модуля на рабочую панель программный компонент принимает аппаратную часть, выводя все доступные команды управления в виде списка. Список раскрывается после нажатия на кнопку с плюсом слева от названия модуля.

Теперь мы можем в программе использовать компонентный макрос для DAC. В разделе **настроек** разрешим работу DAC, затем добавим бесконечный цикл, внутрь которого вставим еще один цикл, работающий до получения переменной значения в 4095, а переменную выберем в соответствии с рекомендованным типом (рис. 22.3).

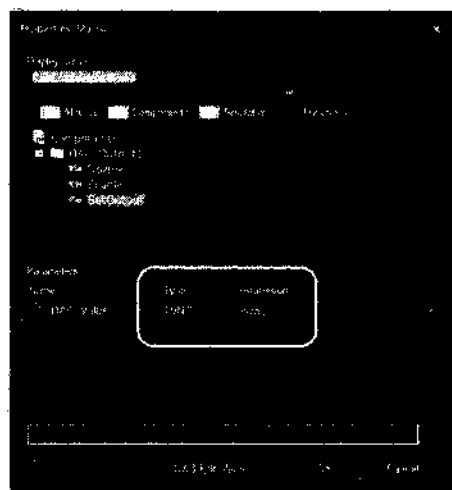


Рис. 22.3. Добавление переменной для записи в регистр ЦАП



### СПРАВКА.

**Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП, DAC)** — устройство для преобразования цифрового (обычно двоичного) кода в аналоговый сигнал (ток, напряжение или заряд). Цифро-аналоговые преобразователи являются интерфейсом между дискретным цифровым миром и аналоговыми сигналами.

**Переменные типа INT** — это целые числа, занимающие два байта, в диапазоне от  $-32767$  до  $+32767$ . Если знак целого числа не играет роли в программном приложении, то можно использовать беззнаковые целые, которые имеют диапазон от 0 до  $+65535$ . Указанные значения чисел зависят от разрядности процессора. Как правило, в современных компиляторах для 32-разрядных

*платформ целое число имеет размер 4 байта и диапазон от -2 147 483 648 до +2 147 483 647.*

*Википедия*

Число, отправляемое в модуль ЦАП, — это беззнаковое целое UINT. В итоге программа будет выглядеть так (рис. 22.4).



### ЭТО ВАЖНО.

*Приступая к работе с ЦАП микроконтроллера, следует обратиться к описанию модели. Важно, в первую очередь, определить, какую разрядность имеет регистр записи данных в цифро-аналоговый преобразователь.*

*Если компилятор позволяет переменной иметь значения от 0 до 65535, то это еще не значит, что ЦАП готов работать в этом диапазоне чисел. Следует взглянуть в сопроводительную документацию (datasheet), где найти раздел, касающийся DAC.*

*В данном случае разрядность цифро-аналогового преобразователя 12 бит. Максимальное число в этом случае 4095.*

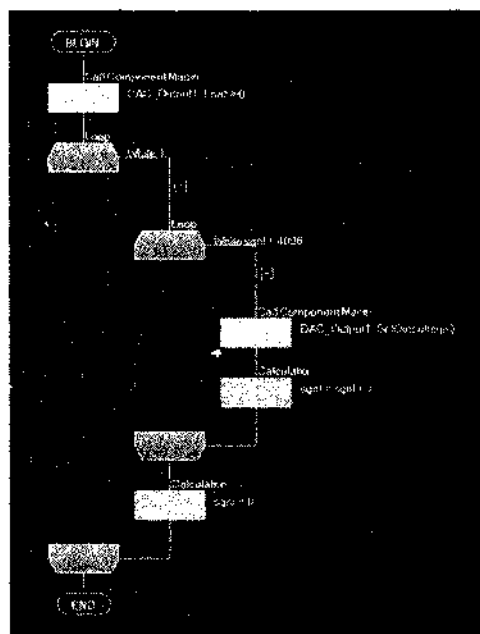
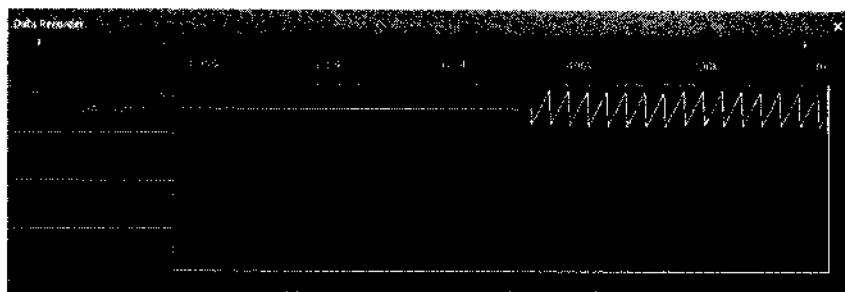


Рис. 22.4. Программа для получения сигнала от ЦАП

Чтобы увидеть полученный сигнал, воспользуемся инструментом программы Flowcode, который называется Data Recorder. Почему не осциллографом? У меня не получилось увидеть сигнал на экране осциллографа. Что-то я сделал не должным образом, или не я это сделал, но отчего бы и не Data Recorder (рис. 22.5)?

Сигналы такой формы раньше использовались в развертках телевизоров. Строчная развертка перемещала луч слева направо по экрану, отрисовывая одну строку изображения. Затем луч быстро возвращался назад, чтобы в следующем цикле нарастающего напряжения нарисовать вторую строку изображения.



*Рис. 22.5. Сигнал «пила» на выходе ЦАП*

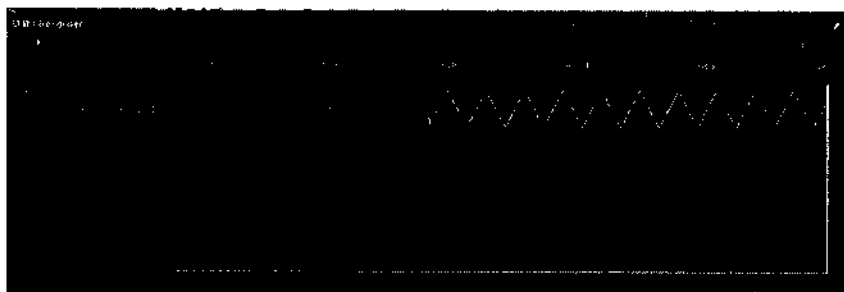
Если бы в телевизоре не было кадровой развертки, то все изображение помещалось бы в одну непонятную строку. Но кадровая развертка заставляла луч перемещаться еще и по вертикали. Закончив рисовать одну строку, луч смещался по вертикали, отображая следующую строку на новом месте. Поскольку перемещение по вертикали происходило плавно, можно было заметить, что строки немного сдвинуты от ровной горизонтальной линии.

Сигнал такой формы применялся и в осциллографах, где вертикальной развертки не требовалось, поскольку вертикальной разверткой занимался исследуемый сигнал. По этой причине развертка осциллографа прорисовывает ровную горизонтальную линию. Но это все, скорее, в прошлом.

В программу можно добавить еще один цикл, в котором переменная будет уменьшаться от максимального значения до нуля. И сигнал изменит форму (рис. 22.6).

Сигнал треугольной формы можно использовать в качестве испытательного сигнала для проверки линейности преобразования. Его можно использовать в устройствах вращения, чтобы проверить их инерционность при смене направления вращения.

Кроме того, сигнал треугольной формы можно превратить в сигнал похожий на синусоидальный сигнал. Так поступали в ряде схем про-



*Рис. 22.6. Сигнал треугольной формы на выходе ЦАП*

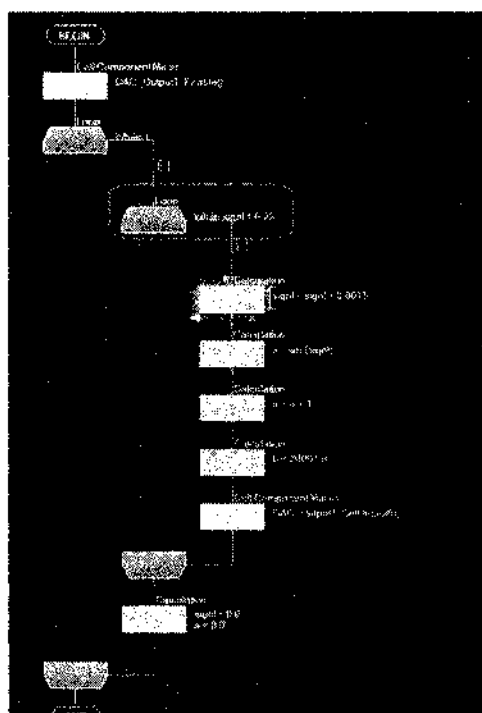


Рис. 22.7. Программа получения синусоидального сигнала на выходе ЦАП

математическими функциями для получения желаемого вида сигнала. Программа получается несложной (рис. 22.7).

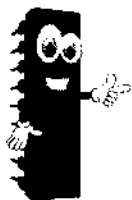
При создании переменных следует учесть, что переменные (в данном случае) `aisgn1` должны быть типа `float` (с плавающей точкой), а переменная `b`, которая будет записываться в регистр ЦАП, должна быть типа беззнаковой целой (`uint`).

Время от времени при работе с микроконтроллерами приходится сталкиваться с подобной ситуацией, когда приходится прибегать к преобразованию чисел. Например, аналого-цифровой преобразователь получает в качестве сигнала напряжение. Но формирует по результатам измерения целое число. Часто это число в диапазоне от 0 до 1023.

Если вы хотите вывести значение напряжения на экран дисплея, вам нужно превратить полученное значение в значение напряжения, которое для аналого-цифрового преобразователя меняется от 0 до 5 вольт. Это сделать не сложно, достаточно умножить, а это штатная операция для любого процессора, это число на шаг дискретизации, в данном случае это  $5/1023$ .

стных функциональных генераторов. За основу таких генераторов принимался **генератор прямоугольных импульсов**. Используя заряд конденсатора от генератора прямоугольных импульсов можно было получить сигнал, который походил на треугольные импульсы. А их, в свою очередь, с помощью ограничителей, имеющих подходящие параметры, превращали в сигналы, форма которых близка к синусоиде. Но в нашем случае...

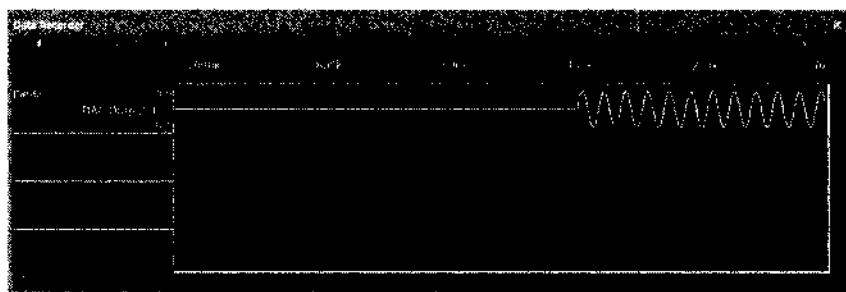
Достаточно просто можно получить и сигнал синусоидальной формы. Вспомним, что в функции синуса угол можно выражать в радианах, что минимальный шаг в этом случае будет равен:  $6,28/4095 = 0,0015$ . И мы воспользуемся встроенными мате-

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

*Но не следует забывать, что теперь вы получите переменную другого типа, то есть переменную типа float.*

Иногда, получая значение от аналого-цифрового преобразователя, это значение нужно передать через USART другому контроллеру или по RS232. А эти интерфейсы желают работать с байтами, а не с целыми числами. И здесь вам придется заниматься преобразованиями типов переменных.

Запуская отладку программы, можно наблюдать требуемую форму сигнала (рис. 22.8).



**Рис. 22.8.** Синусоидальный сигнал на выходе ЦАП

**Радиолюбитель:** А будет ли сигнал синусоидальным не только на экране отладчика?

Здесь можно сослаться на верное программное отображение сигналов, но достоверной станет проверка с помощью реального осциллографа. Подключить реальный осциллограф к программе Flowcode нельзя. Следовательно, нужно отправить созданную нами программу в микроконтроллер. Нужно подключить осциллограф к выводу микроконтроллера, обслуживающему выход цифро-аналогового преобразователя, и теперь можно увидеть форму полученного сигнала.

В этом месте произошла небольшая неприятность, природу которой я не понял, но не стал выяснять. Программа Flowcode 8 позволяет записать hex-файл непосредственно в микроконтроллер через программатор-отладчик ST-Link, но у меня это не получилось. Возможно, существует ряд похожих моделей программаторов, а программа Flowcode предпочитает работать только с одной из них. Пришлось воспользоваться утилитой ST-Link, что не меняет существа дела (рис. 22.9).



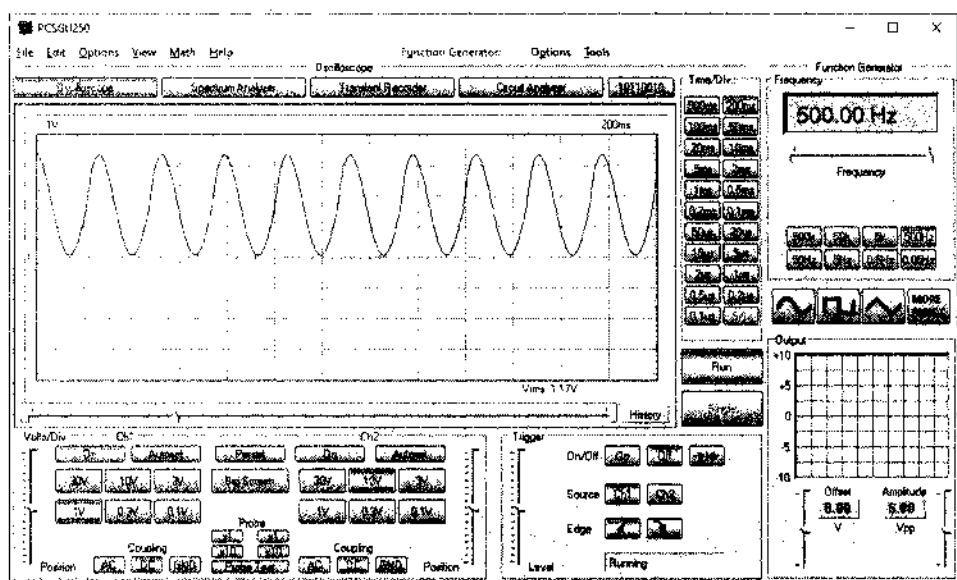


Рис. 22.9. Сигнал на экране реального осциллографа

Сигнал похож на синусоидальный, можно было бы поинтересоваться нелинейными искажениями, но меня смущает другое, период повторения близкий к 300 мс. То есть, частота повторения импульсов около 3 Гц.

Если для пилообразного напряжения или напряжения треугольной формы такая частота еще может оказаться интересной, то для проверки усилителя даже звуковой частоты, такой генератор не подойдет. Нам нужен генератор синусоидального напряжения с диапазоном частот хотя бы от 100 Гц до 10 кГц. Правда, желательно получить сигналы в более широком диапазоне.

Например, для проверки частоты резонанса громкоговорителя нужно расширить диапазон в сторону более низких частот. А для проверки рассеиваемой мощности на транзисторах выходного каскада усилителя хотелось бы иметь верхнюю рабочую частоту порядка 30...50 кГц.

**Радиолюбитель:** Можно ли ускорить процесс преобразования?

Самый простой способ сделать это — уменьшить шаг. Все помнят, что для восстановления функции нужно не так много отсчетов, как использовали мы. Изменив шаг до 0,15, похоже, получаем увеличение частоты сигнала (рис. 22.10).

Если частота увеличилась пропорционально, то есть, в сто раз, то 300 Гц хватит для проверки работоспособности УНЧ, но никак не для функционального генератора. Можно ли еще увеличить частоту сигнала, попробуем разобраться при помощи других программ.

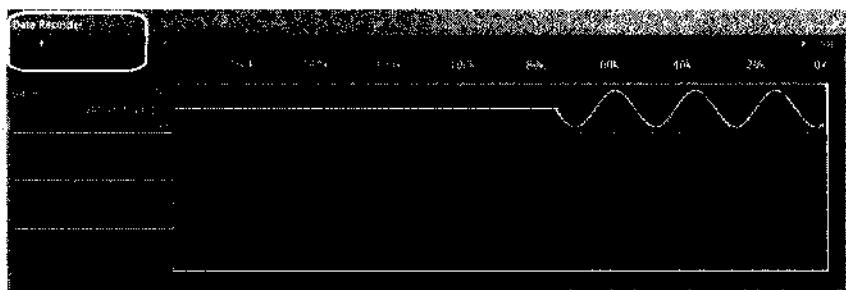


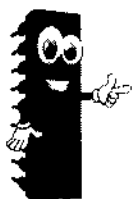
Рис. 22.10. Синусоидальный сигнал при шаге 0,15 радиан

## STM32Cube IDE

К сожалению, последняя версия программы в данный момент существует только для 64-битовой операционной системы, и воспользоваться ею на своем компьютере у меня не получается. Исторически сложилось так, что операционная система Windows 10 у меня 32-битовая. Но есть возможность поставить эту программу на ноутбук, хотя работать на нем я не привык.

Процесс установки описывать нет смысла, поскольку он не отличается от установки любой другой программы в операционной системе Windows.

После установки программы и при ее первом запуске потребовалась дополнительная установка компонентов, которую пришлось повторить несколько раз, прежде чем программа оказалась готова к работе (рис. 22.11).



### СПРАВКА.

STM32Cube IDE поддерживает семейство STM32 MPU. Сегодня при запуске программы вы можете сделать выбор между STM32 MPU и STM32 MPU board. Благодаря встроенной STM32CubeMX вы можете:

- ♦ конфигурировать;
- ♦ генерировать ваш проект;
- ♦ компилировать его;
- ♦ отлаживать проект.

Поскольку программа была установлена впервые, то после запуска она предлагает указать рабочее место для будущих проектов (рис. 22.12).



Рис. 22.11. Запуск программы STM32Cube IDE

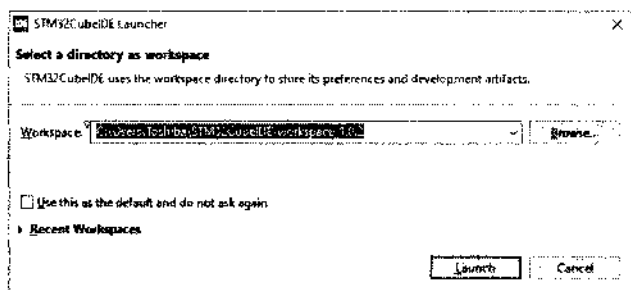


Рис. 22.12. Выбор рабочего места проектов

Уделить внимание месту расположения проекта следует по двум причинам. **Во-первых**, поместив будущий проект на другом диске в разделе «Разное», что с одной стороны неплохо, после смены операционной системы вы не потеряете проект, но с другой стороны...

По прошествии времени, когда вам захочется воспользоваться проектом, на который вы потратили столько сил и времени, вы потратите не меньше времени и сил на его поиск.

**Во-вторых**, вы можете заметить, что по умолчанию проект предлагается разместить в разделе пользователей операционной системы. Попробуйте найти на диске **C:** вашего компьютера раздел *Users*, да, конечно, вы сообразите, что этот раздел у вас называется «Пользователи».



## ВНИМАНИЕ.

*Но есть другая неприятность, которая может сказаться позже, если пользователь компьютера «Вася». Многие программы при работе не могут справиться с директориями, написанными кириллицей. Имейте это в виду.*

При первом запуске программы эти детали могут ускользнуть из внимания, но вы можете позже вернуться к этому вопросу, перенаправив программу в другое, более разумное с точки зрения выбора место.

Многие программы разработки для микроконтроллеров ARM используют в качестве основы многофункциональную среду *Eclipse*, поэтому выбор проекта начинается с выбора шаблона (рис. 22.13).

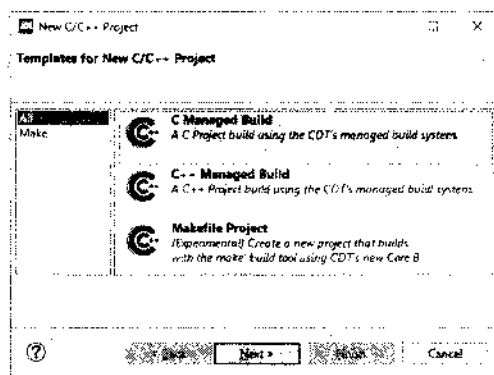


Рис. 22.13. Выбор шаблона для создания нового проекта

Шаблон проекта будет ориентирован на сделанный вам выбор. Если вы хорошо разбираетесь в языках программирования, вам не составит труда выполнить проект в любом варианте. Иначе вы можете встретить трудности с дополнением шаблона нужными вам функциями, операциями и прочее.

Для первого знакомства с любой средой программирования наилучшим решением будет выбор того, что вы уже знаете, с чем сталкивались ранее. Трудности, скорее всего, возникнут и в этом случае, но их будет тем легче преодолеть, чем проще ваш первый проект.

Положим, мы наметили план по преодолению проблемы, с которой столкнулись при выборе среды разработки Flowcode 8, когда мы хотели получить на базе модуля STM32F407VG заготовку для функционального генератора. Стоит ли начинать с этого проекта сейчас, не думаю. Есть классический простой пример, который называют по-разному, а в просторечии «помогать светодиодом». Советую начать с него.

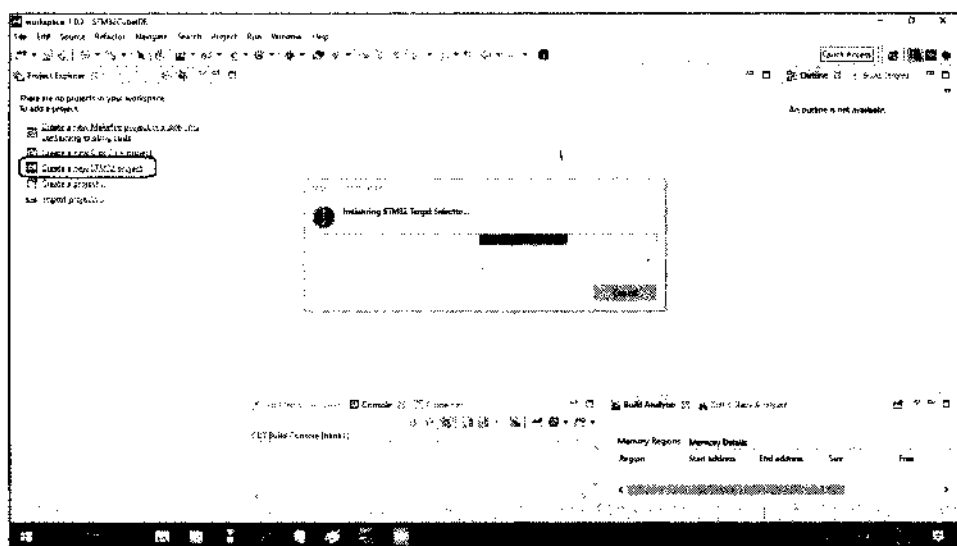


Рис. 22.14. Выбор будущего проекта

В дальнейшем потребуется терпение, если ваш компьютер не сверхбыстрый. Начав с создания простейшего проекта, даже в этом случае, возможно, придется неоднократно обращаться к руководству и поиску ответов в Интернете. Для нашей цели выбираем создание нового проекта для STM32 (рис. 22.14).

Но проект для STM32 подразумевает возможность создание программы для всего ряда микроконтроллеров, что требует выбора конкретной модели (рис. 22.15).



### СПРАВКА.

**STM32** – семейство 32-битных микроконтроллеров производства STMicroelectronics. Чипы STM32 группируются в серии, в рамках каждой из которых используется одно и то же 32-битное ядро ARM, например, Cortex-M7F, Cortex-M4F, Cortex-M3, Cortex-M0+ или Cortex-M0. Каждый микроконтроллер состоит из ядра процессора, статической RAM-памяти, флеш-памяти, отладочного и различных периферийных интерфейсов.

Дизайн ядра ARM имеет множество настраиваемых опций, и ST выбирает индивидуальную конфигурацию для каждого микроконтроллера, при этом добавляя свои собственные периферийные устройства к ядру микроконтроллера перед преобразованием дизайна в полупроводниковую пластину.

Википедия



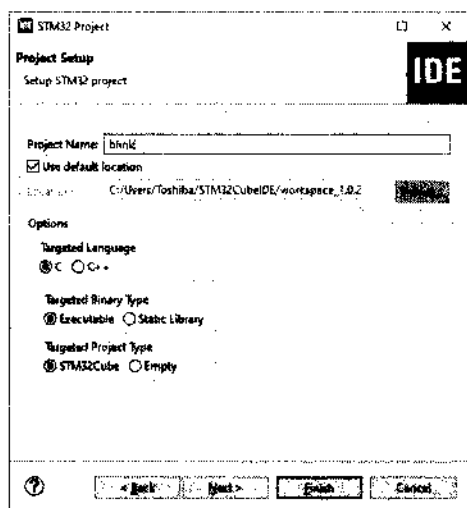


Рис. 22.16. Диалоговое окно задания параметров проекта

```
GPIOA->ODR ^= GPIO_PIN_1;
HAL_Delay(1000);
```

Программа заставит светодиод на плате (вывод PA1 микроконтроллера) мигать с частотой раз в секунду.

**Радиолюбитель:** Почему такой простой текст программы, почему столь простая программа?

О программе Keil  $\mu$ Vision пойдет речь чуть дальше. Но есть и бесплатные полнофункциональные программы, которыми вы сможете пользоваться, если освоите работу с ARM-контроллерами. На это потребуется время, это так, но результат может оказаться весьма полезным не только в плане освоения «целины», но и практических «залежей».

Позже мы еще вернемся к этим настройкам, а сейчас выберем из выпадающего меню генерацию кода шаблона. В код шаблона можно добавить нужные строки, я использую:

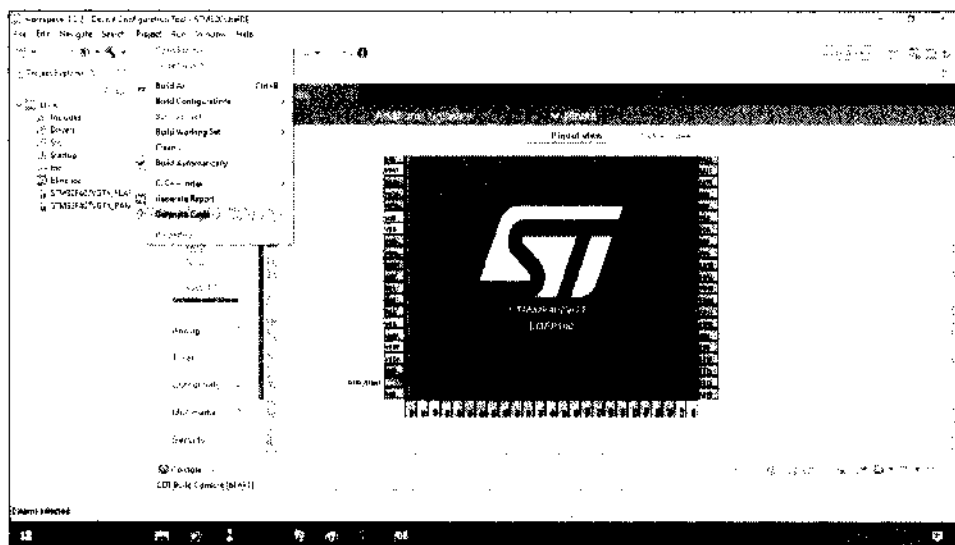
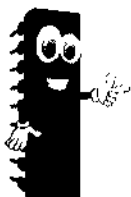


Рис. 22.17. Настройки микроконтроллера для работы

**Во-первых**, значительную часть текста программы «написала» сама среда разработки. **Во-вторых**, при том, что язык программирования один, разные компиляторы имеют свои предпочтения. И определить эти предпочтения проще с небольшим текстом, альтернатива — чтение многостраничного руководства к компилятору.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Конечно, с чтения этого руководства есть резон начинать, если вы намерены долго работать с компилятором. Но не тогда, когда вы знакомитесь с ним.*

Загрузить программу в микроконтроллер из STM32Cube IDE у меня не получилось, более того, после сборки проекта я не обнаружил hex-файл. Но эту-то проблему решают дополнительные настройки проекта (*Project*→*Properties*). Следует найти закладку *Tool Settings*, где отметить нужный формат выходного файла (рис. 22.18).

Загрузить hex-файл можно с помощью программы программатора, я использовал утилиту для ST-Link. Компьютер, на котором работает

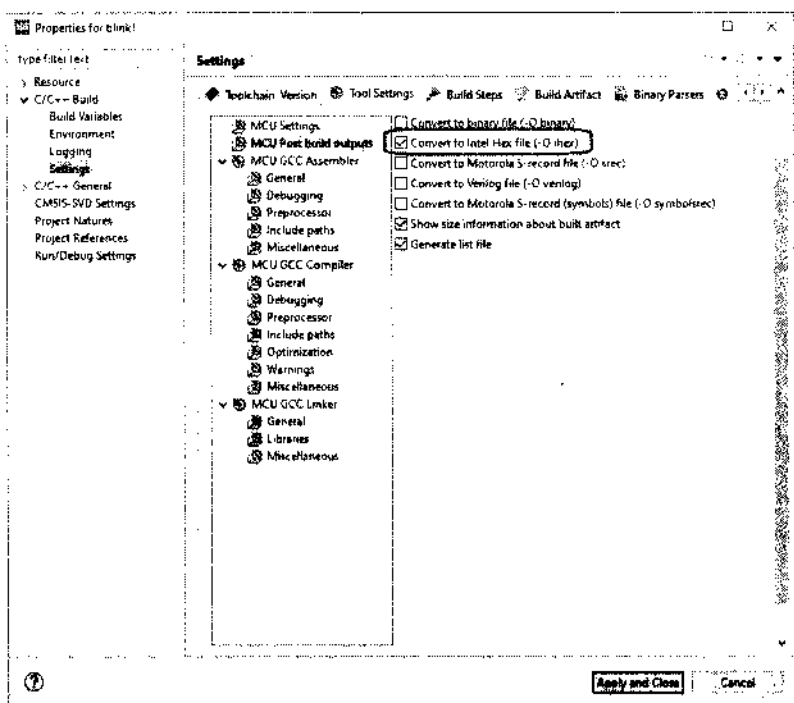


Рис. 22.18. Настройка проекта для генерации hex-файла



STM32Cube IDE, не самый старый производства фирмы Toshiba с операционной системой Windows 10, но все работает с таким трудом и так медленно, что моего терпения не хватает. Поэтому я предпочитаю воспользоваться другим вариантом.

## STM32CubeMX и Keil $\mu$ Vision 5

Создание шаблона для программы почти совпадает с ранее описанной процедурой, которая начинается с запуска программы STM32CubeMX и выбора характера работы (рис. 22.19).



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Все программы, о которых идет речь, можно загрузить с сайта разработчиков. Что лучше сделать, не пользуясь сторонними предложениями.*



*Для загрузки демонстрационной версии программы Keil  $\mu$ Vision 5 зайдите на сайт разработчиков. Потребуется заполнить анкету, что бывает часто, но ничего страшного.*



На многих сайтах при скачивании программ нужно заполнить анкету. Надеюсь, что последствиями этого шага будет только рассылка новостей от производителя. Время от времени на мою почту приходят сообщения от фирм-производителей. Это не слишком обременительно, скажу я вам.



*Здесь вы можете обзавестись программой STM32CubeMX.*

*Там же можно скачать руководство по работе с программой, если вас оно интересует. И есть форум для общения.*



Возможно, потребуется связь с сервером производителя, чтобы обновить список моделей. Выбор модели из списка не отличается от ранее описанного.

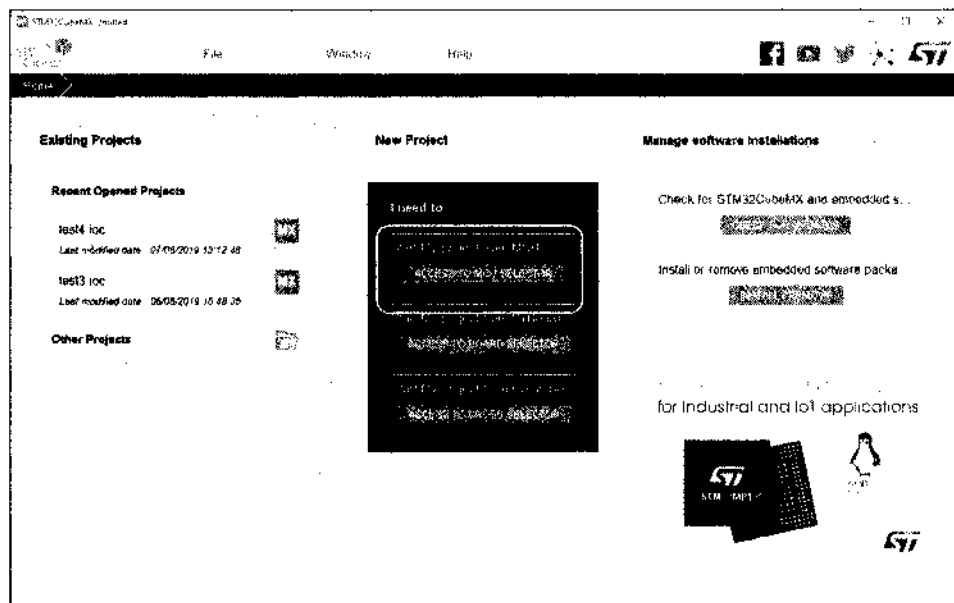
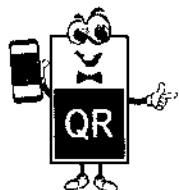


Рис. 22.19. Начало работы с программами

Впрочем, я программу STM32CubeMX устанавливал достаточно давно. И для работы после установки может потребоваться больше усилий. Помощь в этом призвано оказать руководство к программе, но можно почитать обо всем на форуме.



Заходите на один из форумов, обсуждающий работу с STM32CubeMX. Этот форум русскоязычный, что существенно облегчает, согласитесь, общение.



С помощью деовой клавиши мышки можно перемещать изображение микроконтроллера, а колесиком мышки увеличивать его изображение. Нам сейчас нужно выбрать вывод PA1, чтобы назначить его для работы на выход. Достаточно щелкнуть левой клавишей мышки по этому выводу, и выбрать из выпадающего меню нужный режим работы (рис. 22.20).

Верхняя строка рабочего поля программы — это ряд закладок: выводы и конфигурация (*Pinout & Configuration*), конфигурация тактирования (*Clock Configuration*), менеджер проекта (*Project Manager*), инструменты (*Tools*).



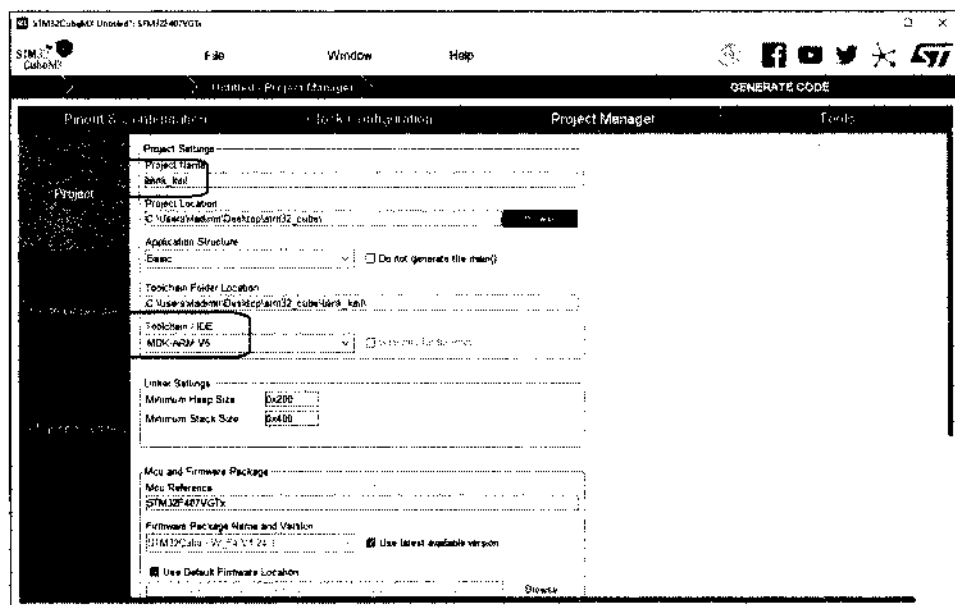


Рис. 22.21. Подготовка шаблона для «первой пробы»



### ЧТО ЕСТЬ ЧТО?

Визуальный графический редактор **STM32CubeMX** и среда разработки **System Workbench for STM32** (краткое обозначение – **SW4STM32**) – лучший способ быстрой, наглядной, простой в освоении бесплатной разработки системы на базе микроконтроллеров семейства **STM32**.

Осталось проверить, что собой представляет **System Workbench for STM32**. Или, скажем, **True STUDIO**, среда разработки, которая тоже поддерживается, полностью функциональна и бесплатна для разных целей, включая коммерческие. Но сейчас нам предстоит разобраться с тем, что у нас уже есть.

После сделанных настроек кнопкой **GENERATE CODE** вверху справа запускается генерация шаблона. Если на панели выбора варианта использования шаблона нажать кнопку **Open Project**, то запускается программа **Keil µVision** (рис. 22.22).

Раскрыв проект, можно двойным щелчком мышки по файлу **main.c** открыть его в редакторе и вставить нужные строки команды. Если не появилось слева от команд каких-либо пометок, то можно собрать проект (рис. 22.23). Появляющиеся пометки в тексте программы слева от строки, как правило, это либо предупреждение о некритичных несоответствиях, либо сообщение об ошибке.



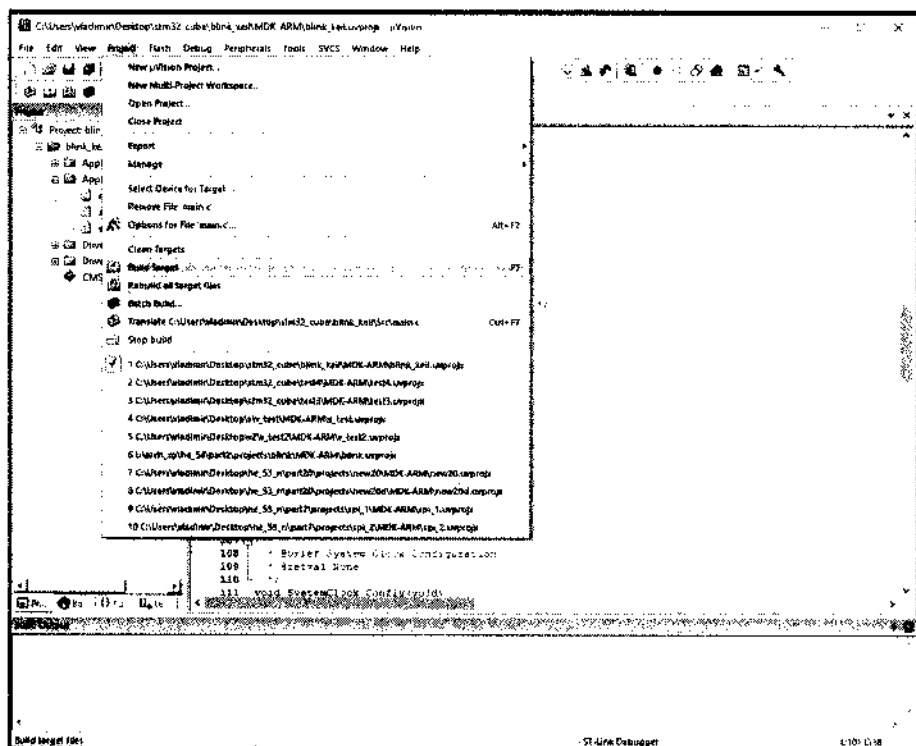


Рис. 22.23. Сборка проекта

Если это так, то вам достаточно загрузить проект в модуль. Но мой модуль STM32 не имеет встроенного программатора.

Наличие внешнего программатора ST-Link имеет, впрочем, и свои преимущества. Можно пользоваться средами разработки, которые не работают с программатором, а формируют только файл для загрузки с помощью программатора.

После подключения модуля STM32F407 к программатору ST-Link, а последнего к порту USB можно загрузить проект в микроконтроллер (рис. 22.24).

Светодиод на плате должен мигать. Возможно, понадобится отключить и вновь подключить плату к USB-порту после загрузки. И еще, некоторые платы, купленные в магазине, уже имеют загруженную в микроконтроллер программу blink, поэтому время паузы желательно изменить, скажем, на 5 секунд.

Приступая к проверке генерации синусоидального сигнала:

- запустим программу STM32CubeMX;
- выберем подходящий модуль;
- откроем закладку аналоговых устройств (Analog), где отметим ЦАП (DAC).

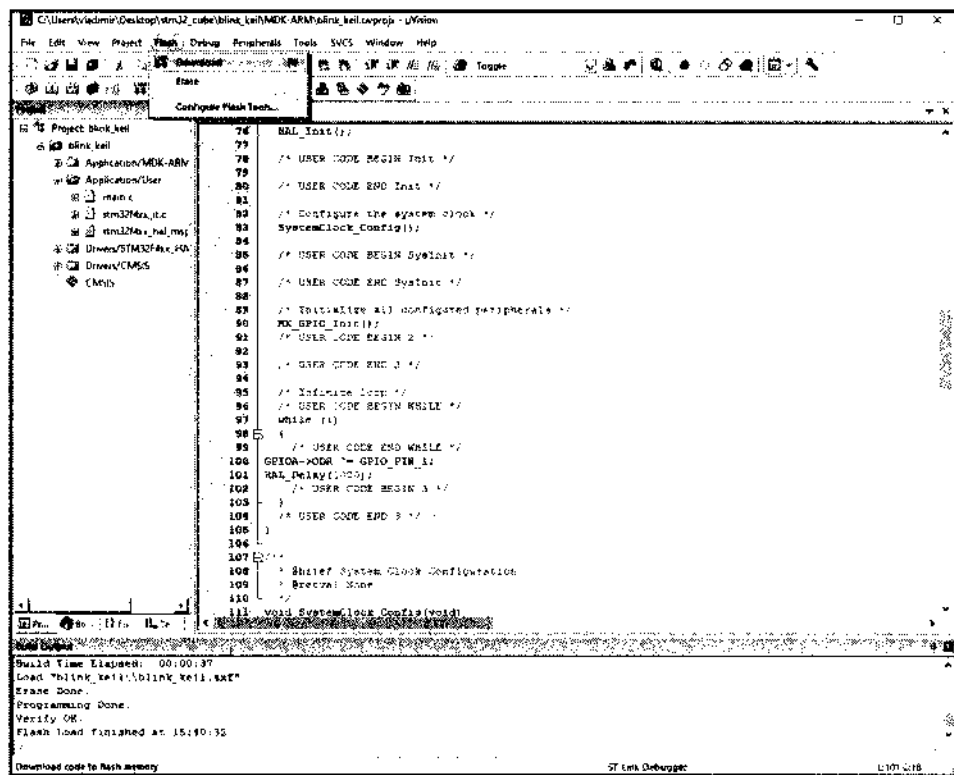


Рис. 22.24. Загрузка проекта в микроконтроллер из программы Keil  $\mu$ Vision 5

Программа сразу выберет и настроит нужный вывод микроконтроллера. Настройку тактовых импульсов пока нет смысла менять (если вы знаете, что нужно изменить, то измените).

На закладке Project Manager введем имя проекта, укажем место, где хотели бы видеть проект, укажем для какой программы требуется шаблон (MDK-ARMV5).

Кнопка **GENERATE CODE** создаст шаблон и предложит выбрать, что нужно открыть. Откроем проект.

После загрузки Keil  $\mu$ Vision откроем файл *main.c*, в который добавим библиотеку математических операций (через директиву `#include`), добавим переменные, добавим несколько строк программы, которая в конечном счете, исключая комментарии, будет выглядеть так:

```

#include "main.h"
#include <math.h>
DAC_HandleTypeDefhdac;
void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
  
```

```

static void MX_DAC_Init(void);
double sgnl = 0.0;
double a = 0.0;
uint16_t b = 0;
int main(void)
{
    HAL_Init();
    SystemClock_Config();
    MX_GPIO_Init();
    MX_DAC_Init();
    while (1)
    {
        while (sgnl<=6.28){
            sgnl = sgnl + 0.15;
            a = sin(sgnl)+1;
            b = 2000*a;
            HAL_DAC_Start(&hdac, DAC_CHANNEL_1);
            HAL_DAC_SetValue(&hdac, DAC_CHANNEL_1, DAC_ALIGN_12B_R,
            b);
        }
        sgnl = 0.0;
    }
    void SystemClock_Config(void)
    {
        RCC_OscInitTypeDefRCC_OscInitStruct = {0};
        RCC_ClkInitTypeDefRCC_ClkInitStruct = {0};
        __HAL_RCC_PWR_CLK_ENABLE();
        __HAL_PWR_VOLTAGESCALING_CONFIG(PWR_REGULATOR_VOLTAGE_
        SCALE1);
        RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_
        HSI;
        RCC_OscInitStruct.HSISState = RCC_HSI_ON;
        RCC_OscInitStruct.HSICalibrationValue = RCC_
        HSICALIBRATION_DEFAULT;
        RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_NONE;
        if (HAL_RCC_OscConfig(&RCC_OscInitStruct) != HAL_OK)
        {
            Error_Handler();
        }
        RCC_ClkInitStruct.ClockType = RCC_CLOCKTYPE_HCLK|RCC_
        CLOCKTYPE_SYCLK |RCC_CLOCKTYPE_PCLK1|RCC_CLOCKTYPE_
        PCLK2;
        RCC_ClkInitStruct.SYSCLKSource = RCC_SYSCLKSOURCE_HSI;
        RCC_ClkInitStruct.AHBCLKDivider = RCC_SYCLK_DIV1;
        RCC_ClkInitStruct.APB1CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;
        RCC_ClkInitStruct.APB2CLKDivider = RCC_HCLK_DIV1;
        if (HAL_RCC_ClockConfig(&RCC_ClkInitStruct, FLASH_
        LATENCY_0) != HAL_OK)
        {

```



```

Error_Handler();
}
}
static void MX_DAC_Init(void)
{
DAC_ChannelConfTypeDefsConfig = {0};
hdac.Instance = DAC;
if (HAL_DAC_Init(&hdac) != HAL_OK)
{
Error_Handler();
}
sConfig.DAC_Trigger = DAC_TRIGGER_NONE;
sConfig.DAC_OutputBuffer = DAC_OUTPUTBUFFER_ENABLE;
if (HAL_DAC_ConfigChannel(&hdac, &sConfig, DAC_CHANNEL_1)
!= HAL_OK)
{
Error_Handler();
}
}
static void MX_GPIO_Init(void)
{
__HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
}
void Error_Handler(void)
{
}
#ifdef USE_FULL_ASSERT
void assert_failed(uint8_t *file, uint32_t line)
{
}
#endif /* USE_FULL_ASSERT */

```

Строки, которые были добавлены в шаблон, выделены. После трансляции программы и загрузки в STM32F407VG можно увидеть результат на экране осциллографа (рис. 22.25).

При работе с Flowcode можно было проверить результат с помощью виртуального осциллографа (не всегда получалось) и Data Recorder'a. В Keil µVision 5 я не помню, есть ли такая возможность. Но помочь в этом может другая полезная программа.

## || STM Studio

Разные версии программы работают с разными версиями языка Java, что потребует терпения при установке программы. После ее запуска открывается рабочее окно (рис. 22.26).

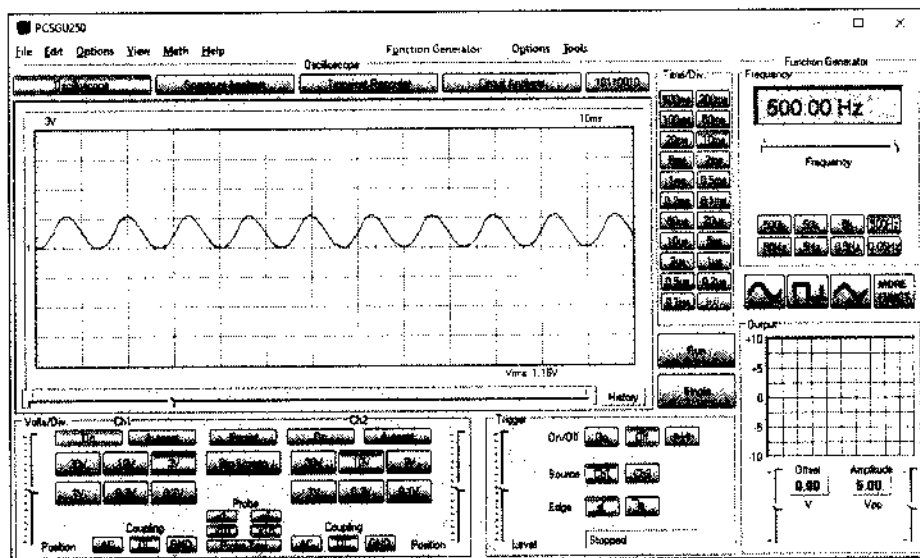


Рис. 22.25. Полученный синусоидальный сигнал

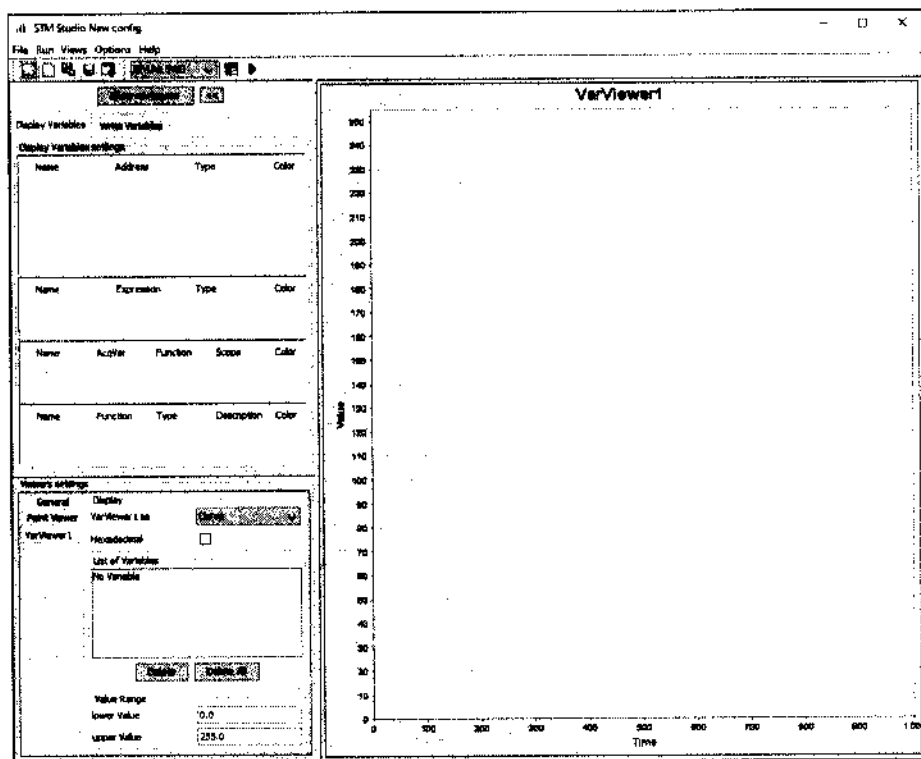
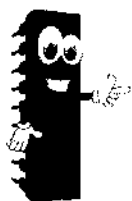


Рис. 22.26. Рабочее окно программы STM Studio v3.6

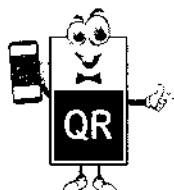


## СПРАВКА.

*STM Studio помогает при отладке и диагностике приложений STM32, когда они работают, читая и отображая их переменные в реальном времени. Работая на персональном компьютере, интерфейсы STM Studio используют стандартный инструмент разработки ST-LINK.*

*STM Studio является ненавязчивым инструментом, сохраняя поведение приложений в реальном времени. STM Studio прекрасно дополняет традиционные средства отладки для полной настройки приложений. Оно хорошо подходит для отладки приложений, которые не могут останавливаться, например, как устройства управления моторами.*

*Разные графические представления предполагаются для нужд отладки и диагностики или для демонстрации поведения приложения.*



*Здесь вы можете скачать программу STMStudio. Можете скачать руководство, можете найти ответы на свои вопросы на форуме.*



Перед тем, как продолжить работу с STM Studio, я возвращаюсь в Keil  $\mu$ Vision 5, чтобы изменить шаг переменной *b* до значения 0,0015, вы помните, эту переменную мы отправляем в регистр DAC.

В основном меню выберем раздел *Options*, а в появившемся окне зададим минимальный временной интервал (рис. 22.27). Программатор ST-Link у меня подключен к USB-порту. Поэтому в окне инструментального меню осталось ST-Link SWD.

Для работы программы STM Studio нужны переменные, которые использовались при разработке кода для микроконтроллера. Все необходимые данные сосредоточены в среде разработки, которая была использована для написания исходного кода программы STM32.

Поскольку мы работали с программой Keil  $\mu$ Vision 5, за переменными следует обратиться к этой среде разработки. Хотя для STM Studio подойдет, вероятно, elf-файл, созданный для микроконтроллера STM32 другой программой.

Окно программы имеет основную панель отображения результата, а слева есть окна переменных. Эти окна заполняются либо вручную, если вы помните все свои переменные, либо их можно прочитать.

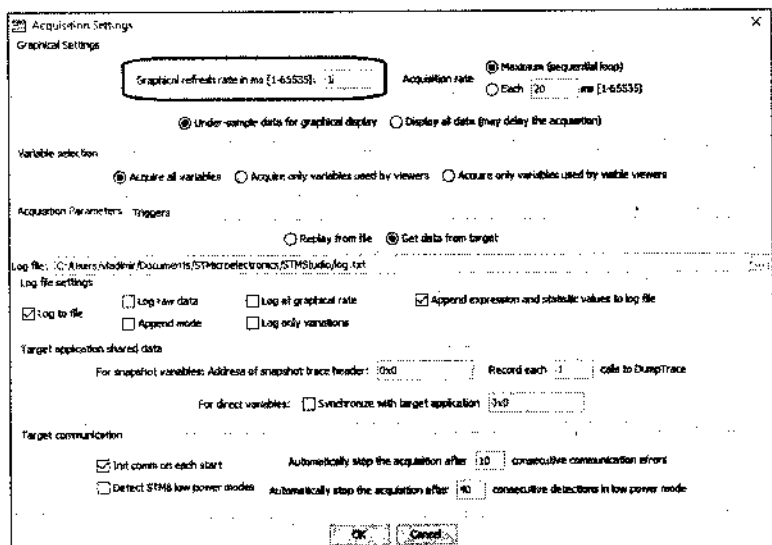


Рис. 22.27. Опции STM Studio

Для этого щелкнем в окне переменных правой клавишей мышки, чтобы импортировать переменные из программы Keil (рис. 22.28).

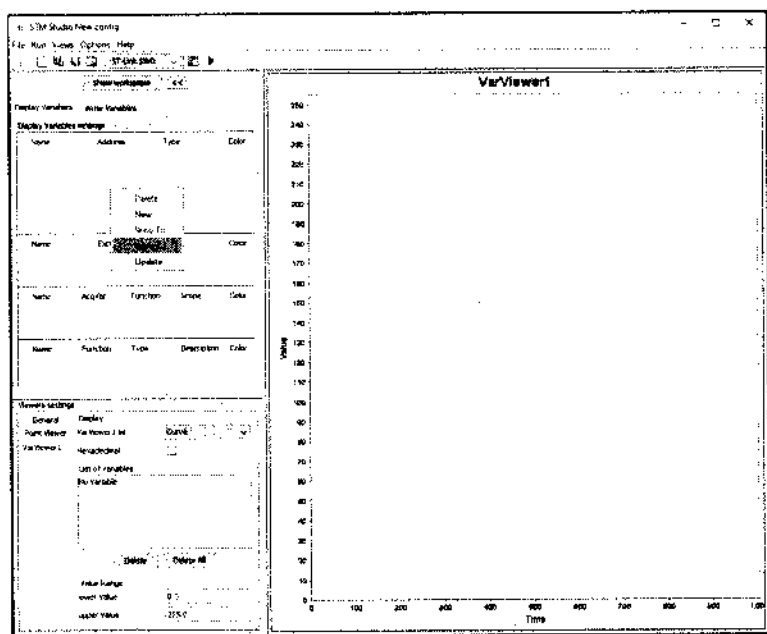


Рис. 22.28. Импорт переменных

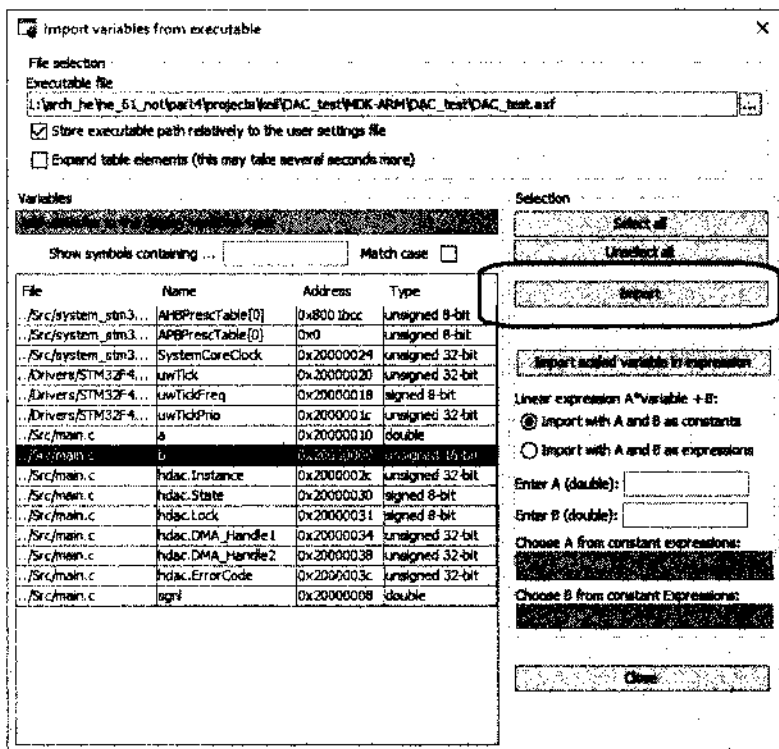
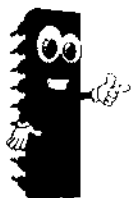


Рис. 22.29. Выбор исполняемого файла, загруженного в микроконтроллер

После щелчка по подпункту *Import...* появляется окно, в котором следует с помощью кнопки справа от окна пути к выполняемому файлу обратиться к проводнику, чтобы указать файл с расширением .elf или .axf (рис. 22.29). Когда файл указан, появится список всех переменных.

Слева есть список всех файлов, принадлежащих проекту. Далее, соответственно, список переменных. В следующем окне указаны адрес и далее типы переменных. Выбрав переменную (или переменные), воспользуемся кнопкой **Import**.



### СОВЕТ.

В диалоговом окне есть ряд дополнительных настроек. Использовать их есть смысл тогда, когда вы хорошо познакомились с работой программы.

Впрочем, если не начать работать с программой, то и познакомиться с ней будет слишком трудно. Читая руководство к программе,

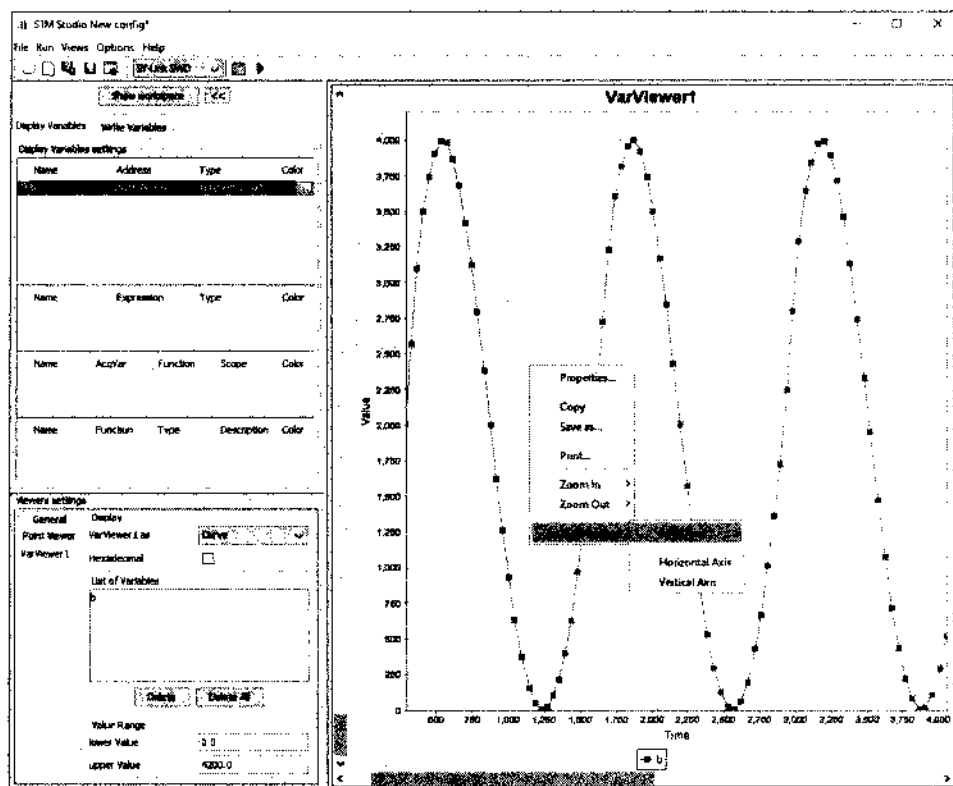


Рис. 22.30. Автоматическая настройка осей

можно представить себе ее работу, но это представление зависит от многих факторов, например, от опыта работы с другими программами. Одни из них помогут, другие могут помешать вашему представлению.

Выберем переменную  $b$  и нажмем кнопку **Import**. Переменная появится в окне переменных рабочего окна STM Studio. С помощью кнопки **Close** можно закрыть диалог выбора переменных. А выбранный экземпляр «подцепим» левой клавишей мышки и перенесем в окно *VarViewer1*, где переменную и сбросим (отпустим клавишу мышки). Запустив симуляцию, можно что-то увидеть, но полезно выполнить еще одно действие (рис. 22.30). Щелчок правой клавиши мышки вызывает выпадающее меню, в котором можно включить автоматическую настройку осей.

## || Когда эксперименты интересны и полезны

Программы Flowcode 8 и Keil  $\mu$ Vision 5 платные, а демоверсии имеют ограничения. Провести опыты с ними полезно, но для работы можно использовать бесплатные программы.

Сигналы, полученные с помощью ЦАП, даже если их скорость увеличить на порядок, дают возможность создать функциональный генератор с весьма ограниченными возможностями. А сегодня можно купить вполне приемлемый по цене осциллограф-приставку со встроенным генератором сигналов, которые имеют гораздо лучшие параметры.

В итоге — эксперименты интересны и полезны, но...

# ЧТО ПОЛЕЗНОГО В НЕУДАЧАХ?

## Неудача || с генератором ||

Далеко не всегда удастся реализовать задумки. Причины могут быть разными, например, не получилось. Или не удалось купить комплектующие по приемлемой цене. Или параметры, полученные при макетировании, глубоко разочаровали.

Любого неудачи огорчают. Порой раздражают, и хочется все забросить. Но это не лучшее решение. Умнее постараться разобраться в причинах неудачи и поискать другое решение.

Попытка генерировать синусоидальный сигнал с помощью встроенного модуля ЦАП разочаровала. Так бывает. Тем более, что проще купить недорогой генератор, чем возиться с усовершенствованием генератора на SMT32F407VGT. Тем не менее, попробуем придумать что-то, что могло бы увеличить частоту синусоидального сигнала. При этом я не исключаю, что сделать это можно настройками тактирования ЦАП в программе Flowcode. Но намерен применить другой прием.

ЦАП получает числовые значения величины сигнала в данный момент. Если бы мы применили внешний ЦАП, то генерировать числа, вероятно, микроконтроллер будет быстрее. Однако применять внешний ЦАП хлопотно, да и при наличии встроенного модуля накладно. Я хотел бы использовать резистивную матрицу (или набор резисторов) для формирования сигнала.







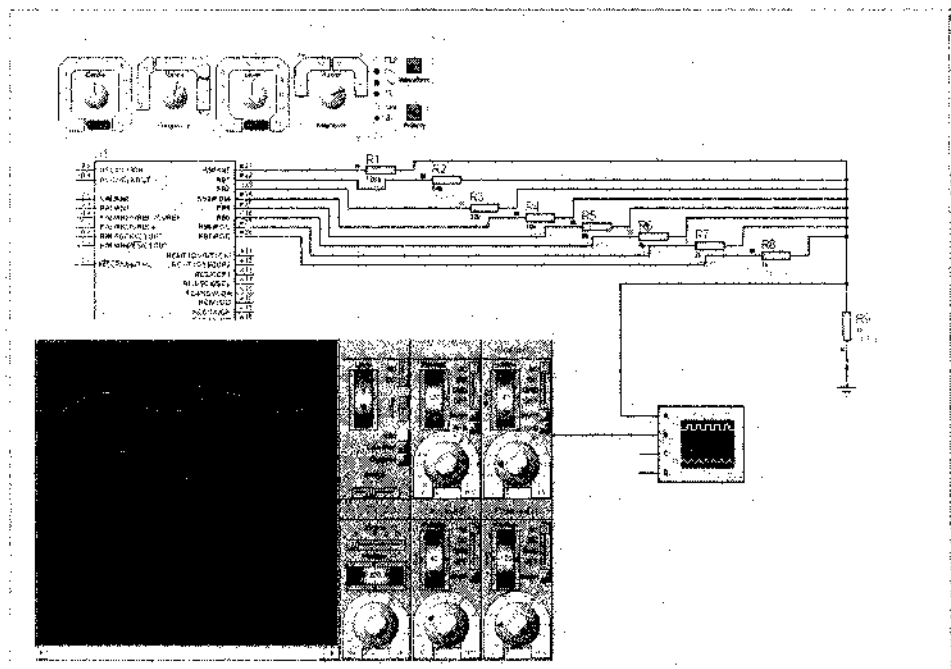


Рис. 23.3. Работа программы по генерации значений для синусоидального сигнала

Формирование сигнала ступенчатым напряжением — это один из методов цифро-аналогового преобразования. Часто используют широтно-импульсную модуляцию (о ней мы говорили при обсуждении D-режима работы выходного каскада). Применяют и ряд других методов преобразования.

Шесть килогерц — это неплохо. Но тактовая частота микроконтроллера PIC16F876 равна 16 МГц, а модуль STM32F407 имеет частоту много больше. Скопируем работающую программу для этого модуля. Мы не увидим синусоидальный сигнал, но период сигнала отобразится, полагая, значениями старшего бита порта.

Наблюдение за старшим битом основано на предположении, что синусоидальный сигнал для достижения максимального значения амплитуды должен иметь максимальное число на входе преобразования.

Наблюдать за выходом цифро-аналогового преобразователя с помощью осциллографа в прошлый раз не получилось, поэтому мы и подключим осциллограф к старшему биту числа на входе преобразователя.

Не забудем настроить осциллограф (*Debug* → *Ghost Options*, кнопка *Tick Used*). Полученный результат свидетельствует, что период сигнала — около 8 мкс. Это отвечает частоте 125 кГц (рис. 23.4).

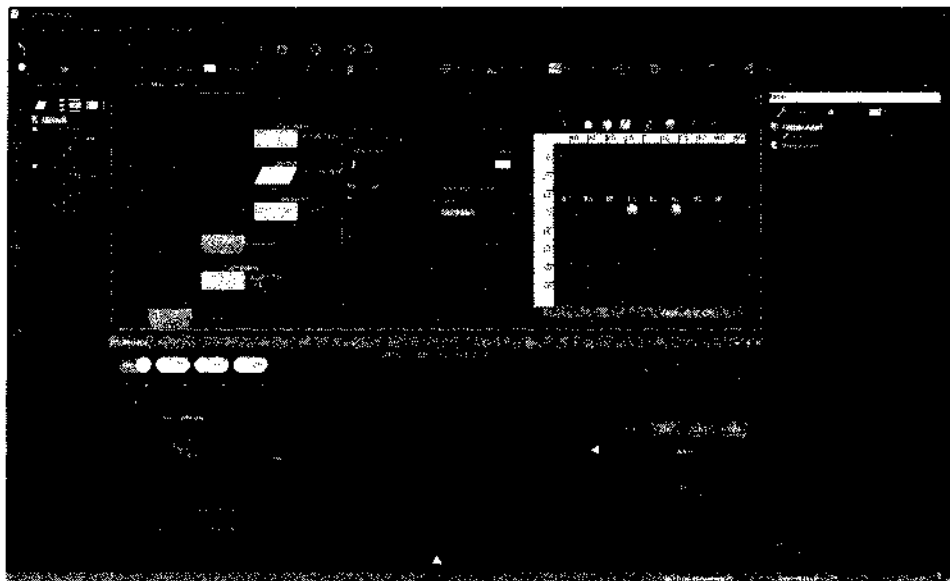


Рис. 23.4. Работа созданной программы с модулем STM32F407

**Радиоловитель:** *Достигли ли мы максимальной частоты?*

Я не знаю, как настроить конфигурацию тактирования в Flowcode, но это проще сделать с программой STM32CubeMX. О программе мы говорили в [главе 22](#), не будем повторять уже сказанное. Но тогда мы не использовали закладку *Clock Configuration*, настройка тактовых частот микроконтроллера.

## Возвращение к программе для STM32

Микроконтроллер STM32 имеет более развитую систему тактирования, чем, например, микроконтроллеры модуля Arduino. В сочетании с высокой основной тактовой частотой получается более гибкая система настроек.

При создании шаблона будущей программы можно воочию наблюдать за тактовой частотой. Порты используют тактовую частоту от APB2. По умолчанию она равна 16 МГц ([рис. 23.5](#)).

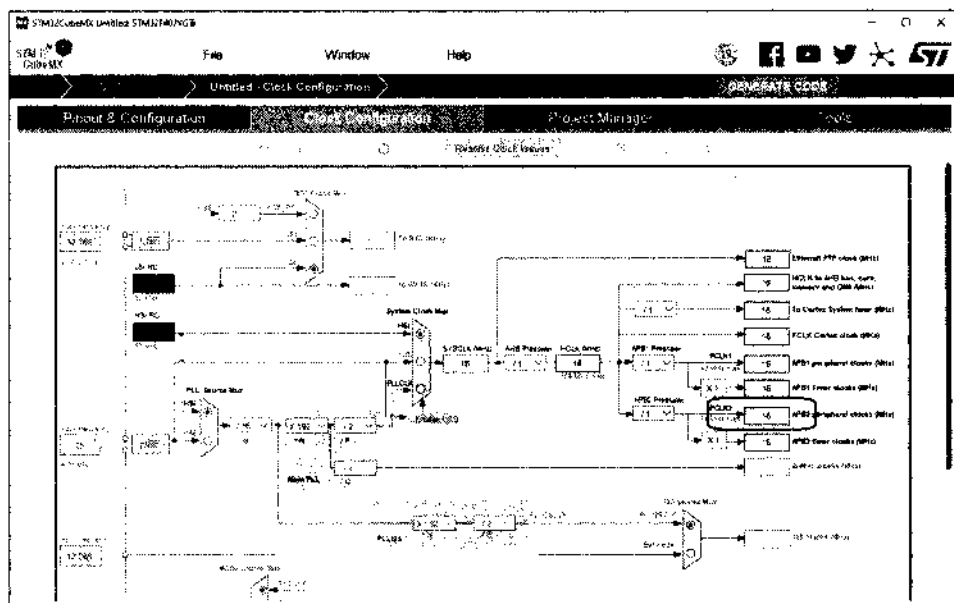


Рис. 23.5. Настройка частоты тактирования в STM32CubeMX

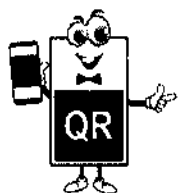


### ПРИМЕЧАНИЕ.

У микроконтроллеров STM32 все периферийные устройства (порты ввода-вывода, таймеры, интерфейсы SPI) подключены к так называемым шинам, через которые периферия получает тактовый сигнал и обменивается данными с ведущими устройствами шины (например, с процессором).

В STM32F103x8 три основных шины: AHB, APB1 и APB2. На каждой из шин висит определенная группа устройств:

- ♦ AHB: процессорное ядро, память и DMA;
- ♦ APB1: USART2, USART3, I2C1/2, CAN, таймеры TIM2..4;
- ♦ APB2: порты GPIO, АЦП, USART1, TIM1, SPI1.



Подробнее о тактировании периферии в устройствах STM32 вы можете прочитать в статье.

Там же и рассказ о тактовом генераторе модуля. И рассказ о других элементах поддержки тактирования.



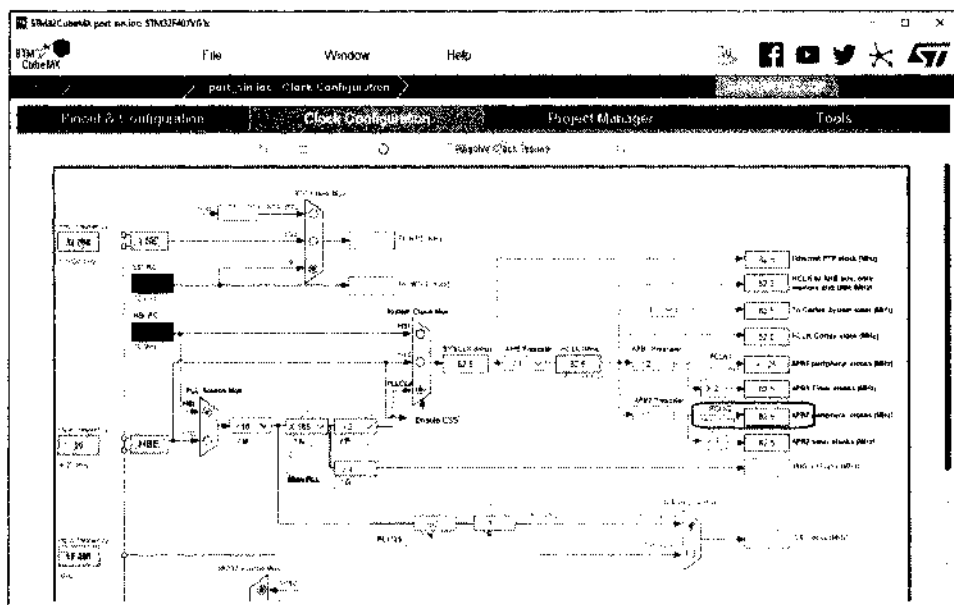


Рис. 23.6. Увеличение частоты тактирования порта

Если внести изменения в настройки, то можно увеличить эту частоту (рис. 23.6).

Проверить изменения поможет еще одна программа, Keil  $\mu$ Vision 5, для которой в STM32CubeMX можно создать шаблон.

Начав с задания выводов порта В для работы на выход, изменив частоту, воспользуемся кнопкой **GENERATE CODE**, чтобы получить нужный шаблон. Но перед этим на закладке *Project Manager* задаем имя проекта, его расположение и выбираем MDK-ARMV5. Это и есть Keil  $\mu$ Vision 5, для которой будет создан шаблон.

Когда шаблон сгенерирован в диалоговом окне предлагается выбрать, что делать дальше. Лучше выбрать открыть проект (**Open Project**). Этим запускается программа Keil  $\mu$ Vision со всеми нужными файлами и готовым шаблоном основной программы.

В этот шаблон легко перенести все строки из файла на языке Си, который был создан программой Flowcode. Небольшая правка, правда, потребуется. Но теперь можно оттранслировать программу и запустить отладку (рис. 23.7).

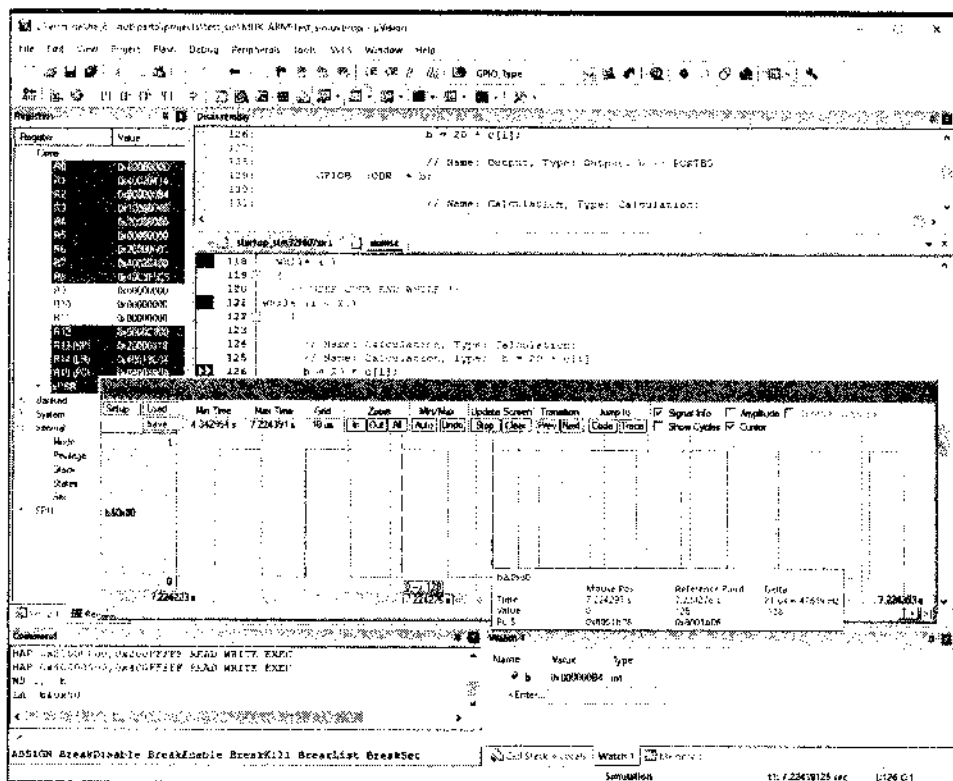


Рис. 23.7. Отладка программы в Keil uVision 5

## Отладка программы в Keil uVision 5

С отладкой в Keil uVision 5 есть несколько «хитростей». Начнем с того, что, видимо, следует использовать нужную модель на закладке отладки (*Project*→*Option for Target*, закладка *Debug*), указав, что будет использоваться симуляция для отладки.

В прошлый раз для STM32F103C8 в окошке диалога понадобилось внести изменения. Нужно ли это сейчас, не знаю, но изменения таковы: DARMSTM.DLL -pSTM32F407VGT (рис. 23.8).

И еще, если не вносить изменения, то скорость работы в десять раз выше (рис. 23.9).

При появлении ошибок следует открыть блокнот и написать в текстовом файле следующее:

```
MAP 0x00000000,0x0000FFFF READ EXEC
MAP 0x08000000,0x0801FFFF READ EXEC
MAP 0x20000000,0x200FFFFFF READ WRITE EXEC
MAP 0x40000000,0x400FFFFFF READ WRITE EXEC
```

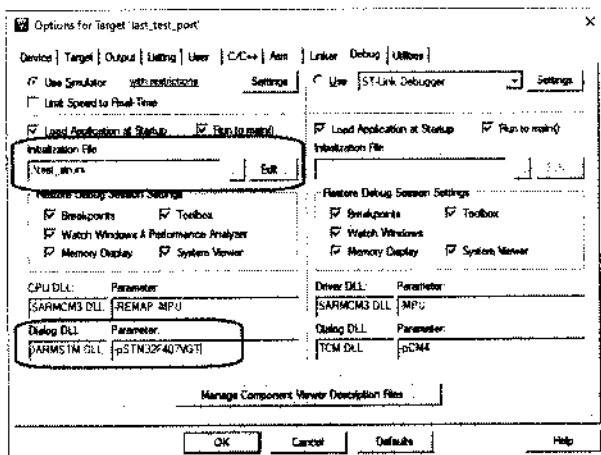


Рис. 23.8. Настройка отладки

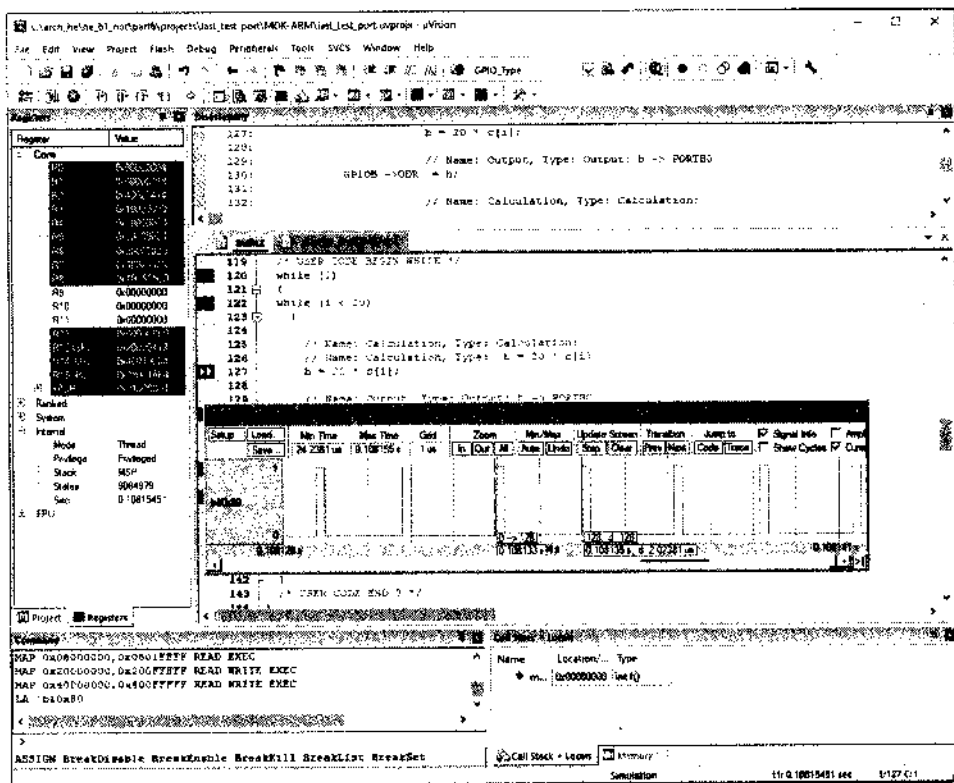


Рис. 23.9. Импульсы старшего бита без изменения в Dialog.DLL



Файл следует сохранить, изменив расширение .txt на .ini, перенести в папку проекта, и указать его в окне диалога настроек проекта. Назвать его можно так же, как вы называли свой проект.

Файл инициализации выполняет настройку карты памяти модуля STM32F407, которая по умолчанию может быть составлена неправильно.

После создания файла инициализации и указания места его расположения в настройках программы отладка должна заработать.

Будет ли все правильно работать, следовало бы проверить.

И еще. Использовать логический анализатор при отладке (когда отладка запущена, View → Analysis Windows → Logic Analyzer) полезно, но добавить можно только переменные. Попытки найти, как добавить для наблюдения вывод, у меня закончились ничем. Но это не помешало сделать следующее: в порт записывается переменная b, отчего бы не наблюдать за ее старшим битом b&0x80? Переменная подходит для анализатора (Setup, в диалоговом окне использовать на верхней панели кнопку добавления, записать переменную, щелкнуть на свободном месте, не забыв выделить переменную и обозначить ее тип как Bit!).

В тексте программы в Keil μVision 5 можно найти настройки тактирования:

```
RCC_OscInitStruct.OscillatorType = RCC_OSCILLATORTYPE_HSI;  
RCC_OscInitStruct.HSISState = RCC_HSI_ON;  
RCC_OscInitStruct.HSICalibrationValue = RCC_  
HSICALIBRATION_DEFAULT;  
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLState = RCC_PLL_ON;  
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLSource = RCC_PLLSOURCE_HSI;  
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLM = 16;  
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLN = 168;  
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLP = RCC_PLLP_DIV2;  
RCC_OscInitStruct.PLL.PLLQ = 4;
```

Их можно использовать для того, чтобы разобраться с аналогичными настройками во Flowcode.

Создавая устройства на базе микроконтроллеров, удобно проверять окончательный вариант в программе Proteus (ISIS), если есть такая возможность, поскольку программа платная. В Proteus обширный модельный ряд для PIC и AVR микроконтроллеров. А в восьмой версии есть и представительство ARM-контроллеров. Однако мои попытки написать программу для STM32F103C8 и воспользоваться моделью CortexM3 окончились необходимостью в разбирательстве, почему не работает?

**Радиолобитель:** И это выяснилось?

Вопрос в данном случае не самый важный. Поэтому я решил, что можно, создав проект для CortexM3 (что попутно создает шаблон на

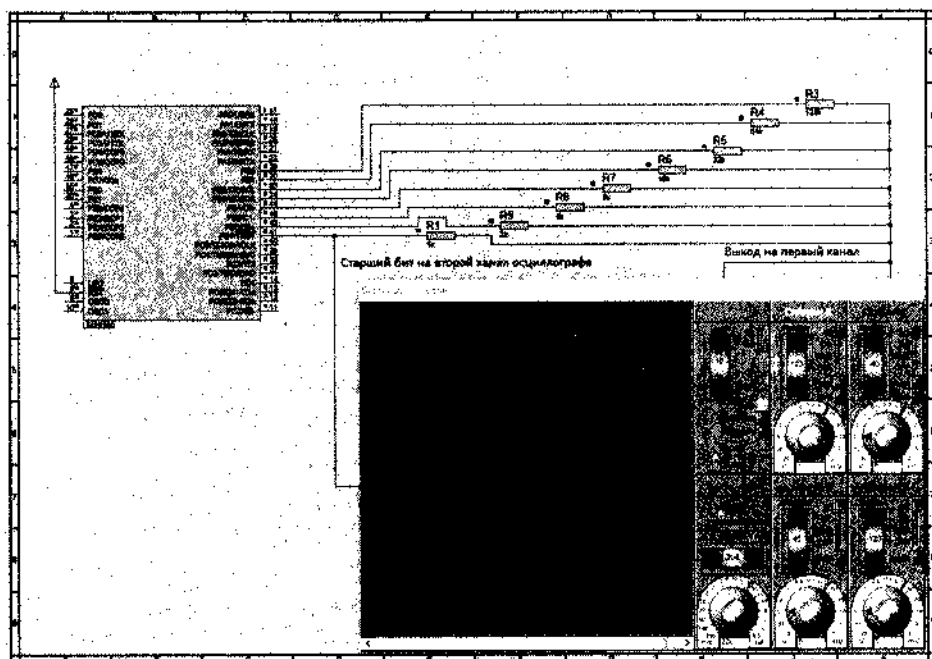


Рис. 23.10. Проверка соотношений по определению периода старшим битом порта

языке Си), записать программу, копируя ее из готовой программы на Си. И... вновь неудача.

Программа не захотела транслироваться с подключенной библиотекой (скорее, заголовочным файлом) математических функций. Привычный образ действий дал сбой.

Можно было бы на этом завершить эксперименты, но я решил потратить немного времени, вручную заполнив массив для вывода в порт. И вот, что получилось (рис. 23.10).

Что можно сказать? Мы узнали много полезного, даже в том случае, если генератор на SMT32F407VGT собирать не будем, хотя верхняя частота порядка 40 кГц вполне подходит для низкочастотного генератора. А неудача обогатила нас новыми знаниями, которые гораздо важнее создания очередного устройства.

И я надеюсь, что убедил вас – далеко не все неудачи бывают «неудачными». Когда я готовил материал к этой книге, я вспомнил о неудачной попытке познакомиться с программой SimulIDE. Открыв один из примеров, я запустил моделирование и... ничего не произошло. В тот раз программа перестала меня интересовать. И напрасно.

Да, она пока не столь богата в части функциональности, если сравнивать ее с программой Proteus, но позволяет моделировать смешан-

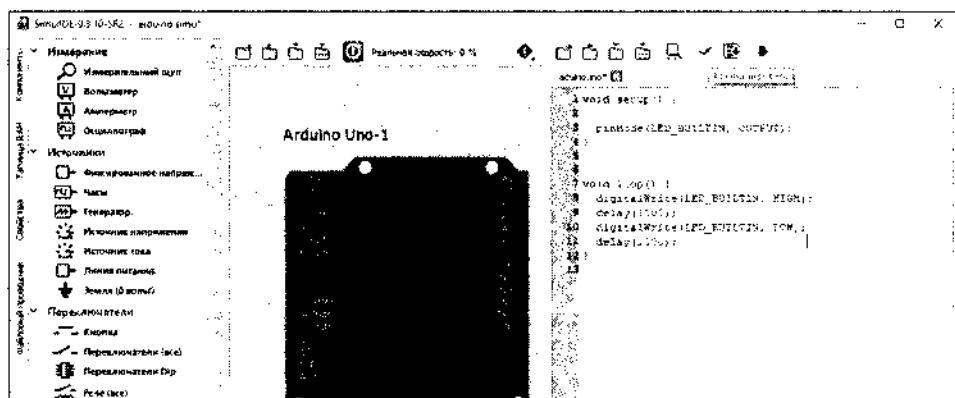
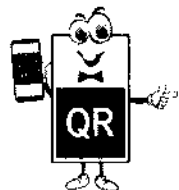


Рис. 23.11. Программа для модуля Arduino в SimulIDE

ные схемы. А неудача при первом знакомстве крылась в одной особенности: для активизации источника питания следует щелкнуть левой клавишей мышки по квадратику над графическим изображением источника, затем щелкнуть по самому источнику. Все. Питание схемы работает, работает и моделирование.

Главное достоинство – программа бесплатная. Ее можно скачать с сайта разработчика.



Можно прочитать о программе, скачать ее для разных операционных систем, Window и Linux. Есть пока немногочисленный форум. Но и там можно найти что-то интересное или полезное.



Особенно привлекательно то, что в SimulIDE можно написать программу для Arduino и проверить работу модуля с другими радиоэлементами.

В следующих главах я несколько раз обращался к программе SimulIDE, моделируя конкретные схемы, что не исчерпывает возможности программы, с которыми, надеюсь, вы познакомитесь.

# МОДУЛЬ ESP8266 И ДРУГИЕ ЕГО СОБРАТЯ

Опыт с Flowcode 8  
и ESP8266

В завершении этой части книги мне хотелось показать одну удобную электронную базу для собственных домашних разработок. Речь идет, как вы догадались, о модуле ESP8266, позволяющем работать по Wi-Fi. Используя программу Flowcode 8 и модуль STM32F407VGT, я намеревался объединить последний с ESP8266, благо такое устройство есть в программе Flowcode 8, но... у меня ничего не получилось. То есть программу я собрал (рис. 24.1).

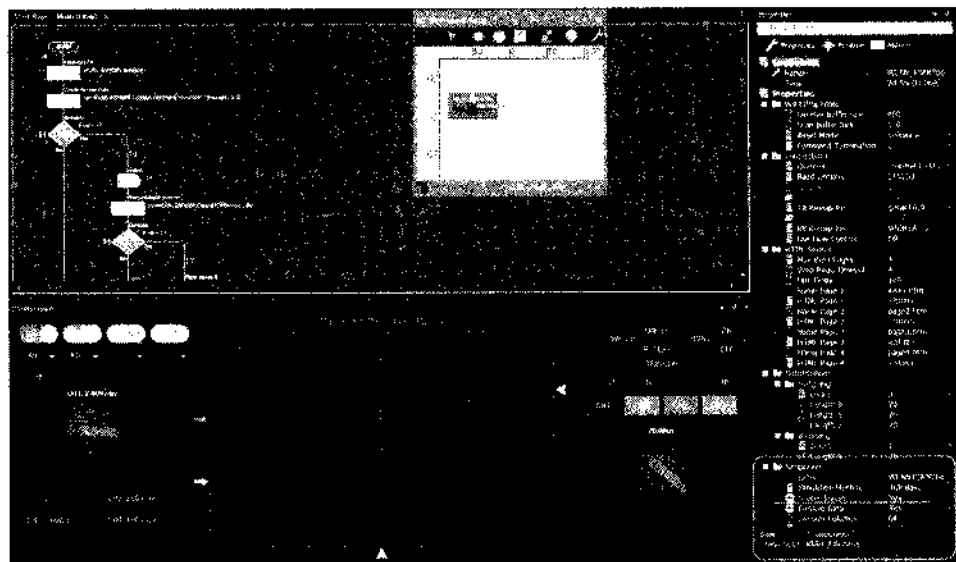


Рис. 24.1. Программа для STM32F407VGT и ESP8266 при отладке

При отладке программа доходит до получения сигнала *ret*, который она не получает, и завершает работу. Сигнал на выходе Tx модуля SMT32F407VGT можно наблюдать на осциллографе. Кстати, не забудьте установить при настройках ESP8266 в разделе симуляции *Scope Traces* в *Yes*, иначе осциллограф ничего не покажет. Но ответного сигнала от Wi-Fi модуля не видно.

## || Что не так с Flowcode и SMT32F407VGT

Я пробовал грузить оттранслированную программу в SMT32F407VGT, использовать реальный осциллограф, но и это не помогло. Просматривая код на языке Си, я согласился с разумными AT командами в тексте, но, вспоминая ранее проделанные опыты, я понял, что не все так просто. Так для настройки ESP8266 через Arduino требовалось подключение выводов Tx-Tx, Rx-Rx, а сам модуль Arduino еще нужно было перевести в режим использования в качестве переходника, подключая вывод сброса RES к общему проводу GND. Только после этих манипуляций удалось отправить AT команды модулю ESP8266.

Более того, для программирования ESP8266 требовалось подключить его выводы: CH\_PD через 10 кОм к плюсу питания, а GPIO0 и вывод RST, подключенный к плюсу через 10 кОм, через кнопки подключать к общему проводу GND в определенной последовательности. То есть, не все так просто. Можно ли это все реализовать в программе Flowcode? Может быть, можно, но! Очередное «НО» заставило меня отказаться от этой идеи. Если осуществить программирование, то будет запрограммирован Wi-Fi модуль, но, похоже, не будут использованы все возможности микроконтроллера SMT32.

Поскольку вспоминать пришлось, читая ранее написанный рассказ, я решил, что наилучшим образом подойдет модуль WeMOSD1 R1, который остался у меня от предыдущих опытов (рис. 24.2).

Сегодня, я полагаю, появились и новые варианты этого модуля.

Работая над книгой, разбираясь с проблемами, я загружал и выгружал что-то из модулей, переписывал и правил что-то, а закончилось все тем,

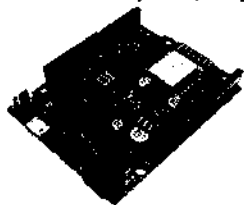


Рис. 24.2. Модуль WeMOSD1 R1  
на Алиэкспресс

что у модуля WeMOSD1 стал постоянно мигать светодиод, и не получалось программировать модуль. Проблема оказалась в драйвере для подключения модуля через виртуальный COM-порт. Каким образом этот драйвер поменялся, я не стал разбираться, достаточно оказалось в диспетчере устройств его обновить, чтобы программирование WeMOSD1 заработало.

## Сервер на модуле WeMos D1

То, как в программе Arduino начать работу с модулем, легко найти в Интернете, что я сам использовал. И в этот раз я не стал «мудрствовать лукаво», а взял готовый пример (то ли из Интернета, то ли из примеров к модулю), вот он:

```
#include<ESP8266WiFi.h>
constchar* ssid = «Имя вашего роутера»;//введите ваш
ssid
constchar* password = «пароль для подключения к нему»;//
введите ваш пароль
WiFiServer server(80);//Порт обслуживания
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(10);
  pinMode(BUILTIN_LED, OUTPUT);
  digitalWrite(BUILTIN_LED, HIGH);
  // Подключение к сети по WiFi
  Serial.println();
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  // Запуск сервера
  server.begin();
  Serial.println("Server started");
  // Вывод IP адреса
  Serial.print("Use this URL to connect: ");
  Serial.print("http://");
  Serial.print(WiFi.localIP());
  Serial.println(«/»);
}
void loop() {
  // Проверим, подключен ли клиент
  WiFiClient client = server.available();
  if (!client) {
    return;
  }
  // Ждем от клиента отправки данных
  Serial.println("new client");
```

```
while(!client.available()){
  delay(1);
}
// Читаем первую строку запроса
String request = client.readStringUntil('\r');
Serial.println(request);
client.flush();
// Идентифицируем запрос
int value = LOW;
if (request.indexOf("/LED=ON") != -1) {
  digitalWrite(BUILTIN_LED, LOW);
  value = HIGH;
}
if (request.indexOf("/LED=OFF") != -1){
  digitalWrite(BUILTIN_LED, HIGH);
  value = LOW;
}
//Устанавливаем BUILTIN_LED согласно запросу
//digitalWrite(BUILTIN_LED, value);
// Возвращаем отклик
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-Type: text/html");
client.println(«»); // не забудьте это!
client.println("<!DOCTYPE HTML>");
client.println("<html>");
client.print("Led pin is now: ");
if(value == HIGH) {
  client.print("On");
} else {
  client.print("Off");
}
client.println("<br><br>");
client.println("Click <a href=\"/LED=ON\">here</a> turn  
the LED on pin 4 ON<br>");
client.println("Click <a href=\"/LED=OFF\">here</a> turn  
the LED on pin 4 OFF<br>");
client.println("</html>");
delay(1);
Serial.println("Client disconnected");
Serial.println(«»);
}
```

Отчего-то не работал монитор порта программы Arduino, но программа загрузилась, программа работала. И вот, что она позволяет (рис. 24.3).

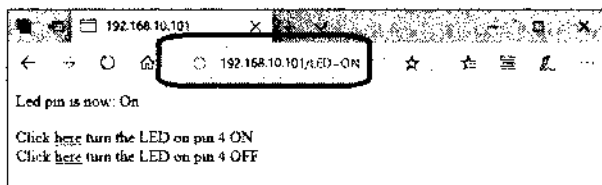
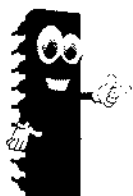


Рис. 24.3. Обращение к модулю WeMOSD1 со стационарного компьютера



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

В программе команда `digitalWrite(BUILTIN_LED, LOW)` включает светодиод, поскольку он, похоже, подключается к плюсу питания.

Не только web-браузер стационарного компьютера позволяет включить или выключить встроенный в плату светодиод, но и браузер ноутбука, планшета и смартфона выполнит эти команды. Добавив, что модуль WeMOSD1 имеет интерфейсы USART, SPI, 1-wire и I<sup>2</sup>C, есть цифровые входы-выходы и аналоговый вход, я готов повторить, что мы получили хорошую базу для создания собственных устройств для дома, где в качестве панели управления прекрасно работает любой смартфон, подключенный к домашней компьютерной сети.

## Что нужно знать для создания устройств на базе WeMOSD1

Предпочтительно, с моей точки зрения, начать ознакомление с модуля Arduino, поскольку WeMOSD1 обладает свойствами, что характерны для Arduino, и с ним можно работать так же, как с Arduino.

Для использования сайта необходимо будет освоиться с HTML.



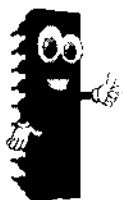
#### ПРИМЕЧАНИЕ.

HTML (от англ. Hyper Text Markup Language – «язык гипертекстовой разметки») – стандартизированный язык разметки документов во Всемирной паутине. Большинство веб-страниц содержат описание разметки на языке HTML (или XHTML). Язык HTML интерпретируется браузерами; полученный в результате интерпретации форматированный текст отображается на экране монитора компьютера или мобильного устройства.

Wiki



С помощью модуля Arduino Uno вы можете отправлять AT-команды Wi-Fi модулю ESP8266, есть таблицы этих команд, а сам модуль Arduino с подключенным ESP8266 можно программировать, но нужно знать, как это сделать. Возможно, я не исключаю этого, поскольку и самому было интересно, вам захочется выяснить, почему у меня не заработала в программе Flowcode 8 связка STM32F407VGT и ESP8266. Согласитесь, любопытно. Но хорошее описание STM32F407VGT — это более 1500 страниц убогистого текста на английском языке.



### СОВЕТ.

*По причине того, что далеко не все любят читать такие описания на английском, я обычно советую использовать в первых опытах микроконтроллеры попроще, например, PIC16F628A, его описание на русском языке можно найти в Интернете.*

Конечно, если вас интересует графический язык программирования Flowcode, а с финансами нет проблем, то можно купить последнюю версию программы. Добавив к этому покупку программы Proteus, вы станете обладателем хорошего набора для создания своих устройств на базе микроконтроллеров.

Однако если вы носите свой кошелек, а не возите за собой на тележке, вам можно порекомендовать использовать **бесплатные программы**. В этом смысле я когда-то много рассказывал о программе KTechlab. Она работает в Linux. И когда-то дистрибутивы Linux хорошо уживались с Windows, ладили между собой.

Позднее можно было успешно установить дистрибутивы Linux в ОС Windows с помощью программы VirtualBox. С программой KTechlab в то время получилось так, что ее создатель отказался от идеи поддержки новых версий вслед за обновлениями Linux, а новая команда на время отреклась от поддержки микроконтроллеров в программе. Сегодня ситуация изменилась.

Сегодня можно установить последнюю (на сегодня) версию Fedora 30, для которой есть готовый к применению пакет KTechlab с восстановленным разделом Flowcode (рис. 24.4).

По внешнему виду графический язык программирования в KTechlab отличается от графики Flowcode, но только по внешнему виду, а не по сути. Те же стандартные конструкции любого языка программирования, те же возможности.

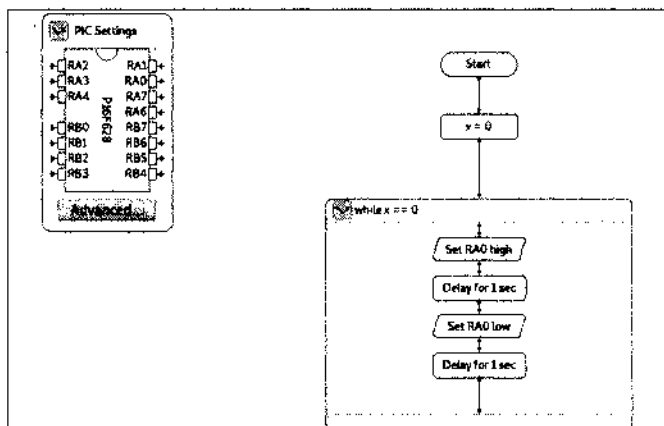


Рис. 24.4. Последняя версия KTechlab

**Радиолюбитель:** *А программа только для работы с микроконтроллерами?*

Более всего меня в работе этой программы привлекало то, что можно моделировать работу микроконтроллера в окружении других электронных компонентов. И программа позволяет работать с этими «другими» компонентами самостоятельно, что важно для изучающих электронику.

## Fedora 30 и KTechlab

Я использовал установку Fedora 30 в Oracle VM Virtual Box. Нужно бы больше оперативной памяти, может быть, нужно и еще что-то, но попробовать можно (рис. 24.5). К сожалению, установка готового пакета программы KTechlab после первых проб разочаровала. Надеюсь, это временное явление.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

При трансляции программы лучше использовать вариант *Display directly*, затем сохранить файл с соответствующим расширением (*microbe*, *asm* или *hex*) в той же папке, где находится проект. Следующее, что нужно сделать — это добавить файл к проекту (*Project* → *Add Current File...*).

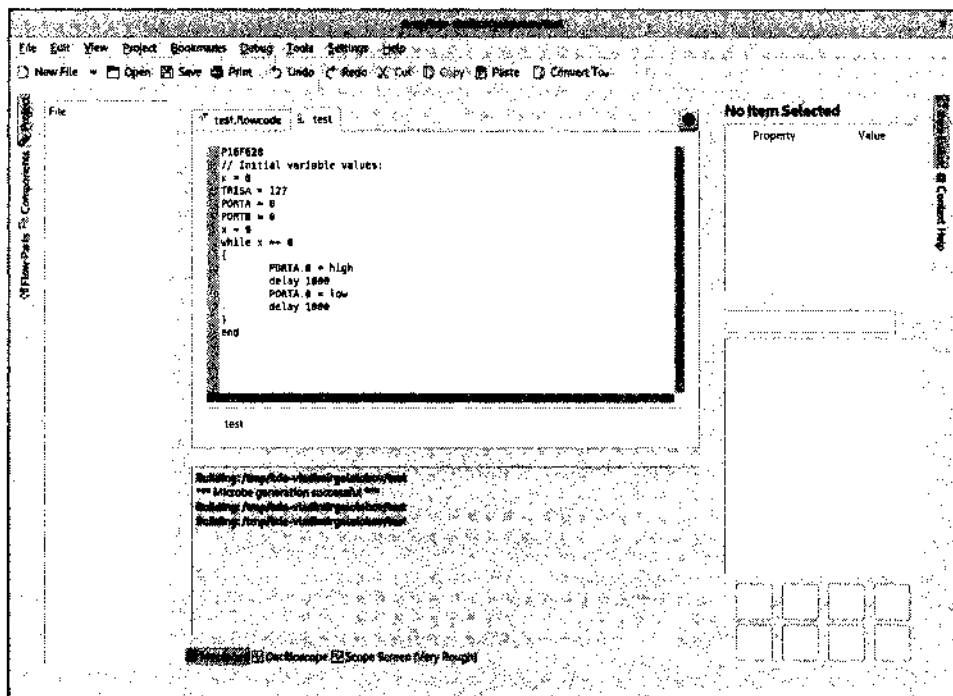


Рис. 24.5. Программа KTechlab в Fedora 30

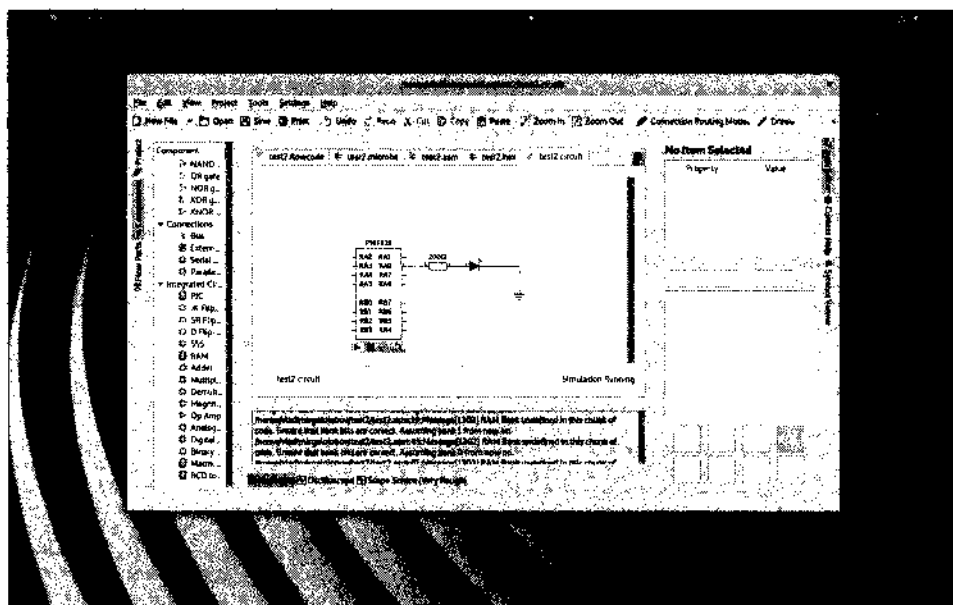


Рис. 24.6. Отладка программы в KTechlab с внешними компонентами

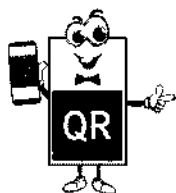
Теперь о разочаровании. Я не нашел в разделе компонентов PIC-контроллер. Увы!

Зачем он нужен? Вот зачем (рис. 24.6).

В таком виде программа имеет законченный вид, позволяя знакомиться и с аналоговой, и с цифровой, и с микроконтроллерной техникой. Чтобы получить законченный вид программы, потребовалось скомпилировать ее из исходного текста (он всегда доступен). Мне бы хотелось написать подробную инструкцию для сборки программы из исходного текста для Fedora 30, но сам я двигался «в темноте и на ощупь», делая много неверных поворотов и движений. Однако, если вам захочется иметь программу, я набросаю то, что помогало мне.

Ориентировался я на требования к дополнительным элементам, которые нашел в Интернете:

- ♦ Qt4 -dev
- ♦ cmake
- ♦ glib -dev
- ♦ KDE4 libraries -dev
- ♦ GPSTest -dev, for microcontroller support



На Яндексе можно найти все пакеты для дистрибутива.  
<https://mirroryandex.ru> — это находка для всех, кто интересуется ОС Linux. Есть все (или почти все) дистрибутивы.



Это помогает найти что-то, что подходит под требуемые пакеты. Например, нужно установить пакет *gpsim* и его заголовочные файлы *gpsim-devel*. Сделать это лучше командой в терминале:

```
sudo yum install dpsim-devel
```

Сам терминал есть в утилитах. После установки этих дополнений, следует установить компиляторы для языка Си и C++: *gcc* и *gcc-c++*. Некоторые дополнения мне пришлось копировать из репозитория и устанавливать в терминале с помощью *yum*, отчего-то он сам не находил нужных пакетов. Мне кажется, что полезно установить не только утилиту *cmake*, но и *cmake gui*. Запустив CMake (она подобно любым программам устанавливается с ярлыком для исполнения), вы должны начать с конфигурации (кнопка **Configure**), где определяется, какие компиляторы будут работать далее (рис. 24.7).

Если все необходимое для работы есть, то, оставив опцию предопределенных компиляторов, можно указать расположение исходного текста. Я использовал домашнюю папку (имя пользователя у меня вве-

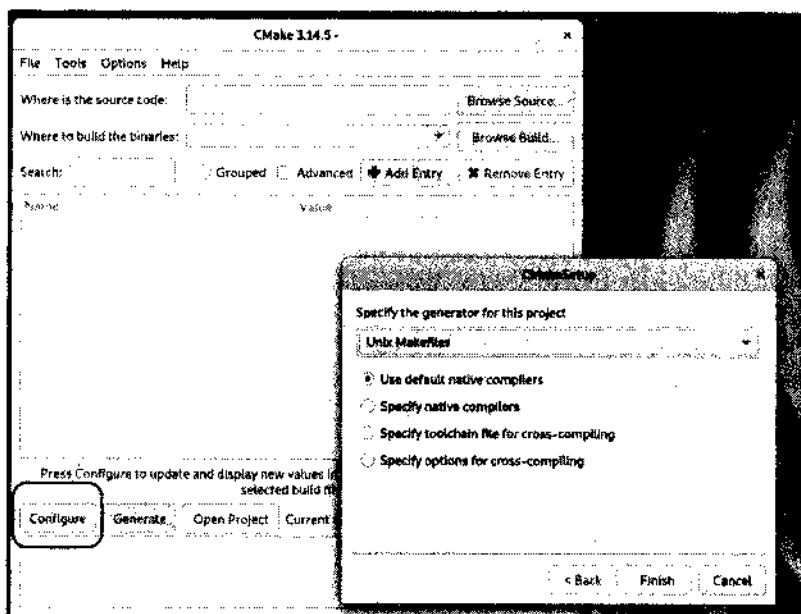


Рис. 24.7. Интерфейс утилиты CMake

дено латиницей, чтобы кириллица не мешала при подобной работе с компиляторами).

Название папки с исходным текстом я упростил до *ktechlab* — если приходится вводить команды вручную, то это очень облегчит жизнь. Для указания места расположения исходного текста есть кнопка справа от окна ввода, в открывающемся окне достаточно выделить название папки и нажать кнопку **Открыть**.

Папка, где будет осуществляться процесс, была создана в домашней папке до начала сборки. Назвал я ее *build* (следуя рекомендациям), но это, думаю, некритично. Ее указываем в следующем окошке. Если все необходимое есть, то кнопка **Generate** запустит предварительную сборку. Если чего-то не хватает, процесс будет останавливаться, и вам нужно будет понять, что остановило процесс.

После правильного завершения этой части работы папка *build* будет заполнена. Здесь, похоже, мне пришлось установить утилиту *make*, ее утилита *cmake* нашла сама. Нужно ли выполнить команду *make* перед установкой, не скажу, возможно, не нужно. Но затем нужно перейти в папку *build* и ввести команду `sudo make install`.

Процедура окончательной сборки и установки очень долгая, наберитесь терпения (что всегда необходимо в работе). По дороге обнаружили две преграды, которые я запомнил. Программа сборки пер-

вый раз «обвалилась» на файле `breakpoints.h`. Проблемное место было связано с включением `Config.h`. В двадцать пятой строке текста есть `#include "../config.h"`, что долго заставляло меня бродить по разным углам пакетов и директорий.

Проблема решилась просто — следовало удалить одну точку в этой записи: `#include "../config.h"`, но... файл пришлось предварительно скопировать в домашнюю директорию, поскольку для исправления на месте прав доступа не хватало. Исправив текст, его можно вернуть на место командой:

```
sudo cp /home/имя_пользователя/breakpoints.h /usr/
include/gpsim/
```

Что несложно.

Второй «обвал» случился с файлом исходного текста `gpsimprocessor.cpp`, который находится по адресу: `/ktechlab/src/electronics`. Там в 761 строке есть запись

```
RegisterInfo*info = new RegisterInfo( picProcessor->W ).
```

Она не понравилась компилятору, сошлись на исправлении:

```
RegisterInfo * info = new RegisterInfo( picProcessor->Wreg ).
```

Эту правку можно сделать без лишних хлопот, поскольку исходный текст в домашней директории.

Продолжение сборки нужно дожидаться, благо при компиляции и компоновке отображается процент выполненной работы. Продолжать процедуру можно той же командой `sudo make install`. Готовые фрагменты пробегаются, а работа возобновляется с места, где была остановка.

Я не уверен, что вспомнил все, но что-то полезное, надеюсь, в этом рассказе есть.

Первые опыты с вновь установленной программой меня разочаровали. Программа неоднократно прекращала работу и исчезала с экрана без веских оснований, с трудом получалось провести соединения, и еще труднее получалось менять параметры. Полное разочарование, виною которого мог быть «виртуальный ящик», в котором Fedora вела себя подобно слону в посудной лавке, могли быть и другие причины. Но!

Назавтра, включив VirtualBox с Fedora 30, запустив программу KTechlab, я без предыдущих проблем смог собрать новый проект. На инструментальной панели появилось отображение окон для изменения параметров (рис. 24.8), а соединения проводились достаточно хорошо.

Подобные странности в поведении программ следовало бы проверить, сравнивая работу виртуальной операционной системы с ее реальным воплощением. Но для подобных проверок лучше иметь второй

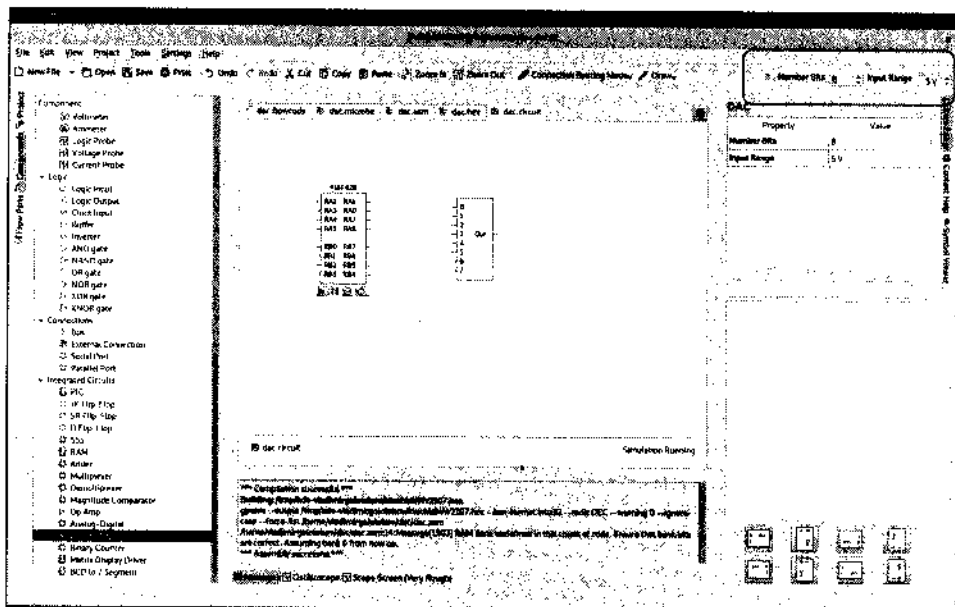


Рис. 24.8. Установка нужных параметров элементов схемы

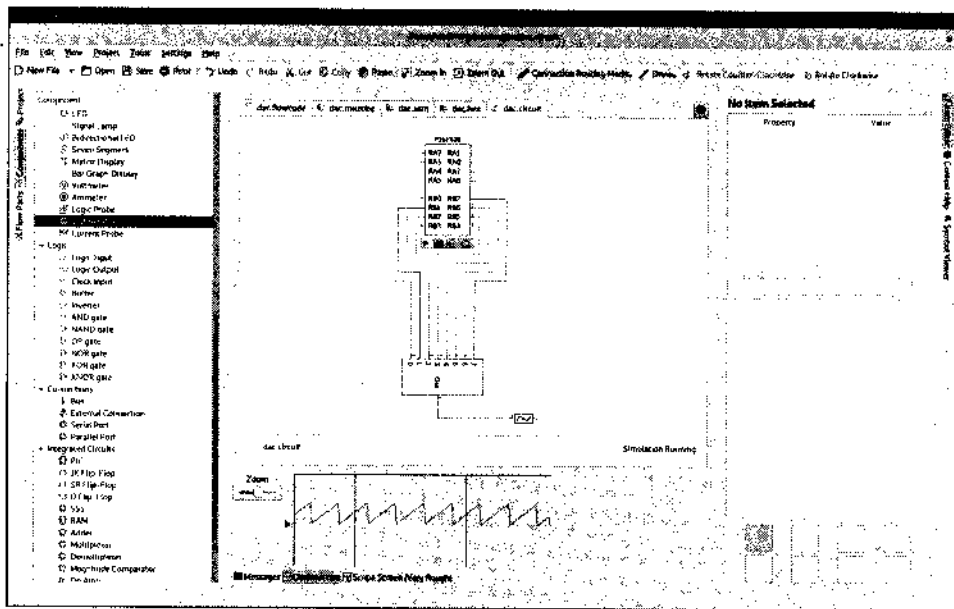


Рис. 24.9. Сигнал, формируемый ЦАП совместно с PIC16F628

компьютер, на котором можно установить дистрибутив (или дистрибутивы) Linux для проведения экспериментов.

С другой стороны, есть еще и MAC OS, и было бы неплохо иметь компьютер, на котором установить все эти операционные системы вместе, если такое возможно. Но это для тех, кто интересуется созданием операционных систем, их изучением и т. д. Для работы с электроникой достаточно одного компьютера. Как показывает практика, можно пользоваться и Windows, и Linux с одинаковым успехом. Но, возможно, с разным программным обеспечением.

Вчера, запуская моделирование микроконтроллера, я так и не смог увидеть результат его работы на экране виртуального осциллографа, но не в этот раз (рис. 24.9).

Я уже говорил, а если нет, то могу сказать сейчас, что программа KTeclab предназначена для освоения разных электронных устройств, как аналоговых, так и цифровых. Более того, можно посмотреть, как работают цифро-аналоговый или аналого-цифровой преобразователь.

Такой подход к работе обучающей программы очень удачен. Возможно, в программе нет конкретных моделей микросхем, это так, но полного перечня всех микросхем, я подозреваю, нет ни в одной программе моделирования. Слишком много существует в природе разных электронных компонентов, чтобы их можно было включить в базу данных одной программы. Впрочем, я имею право и на ошибки!

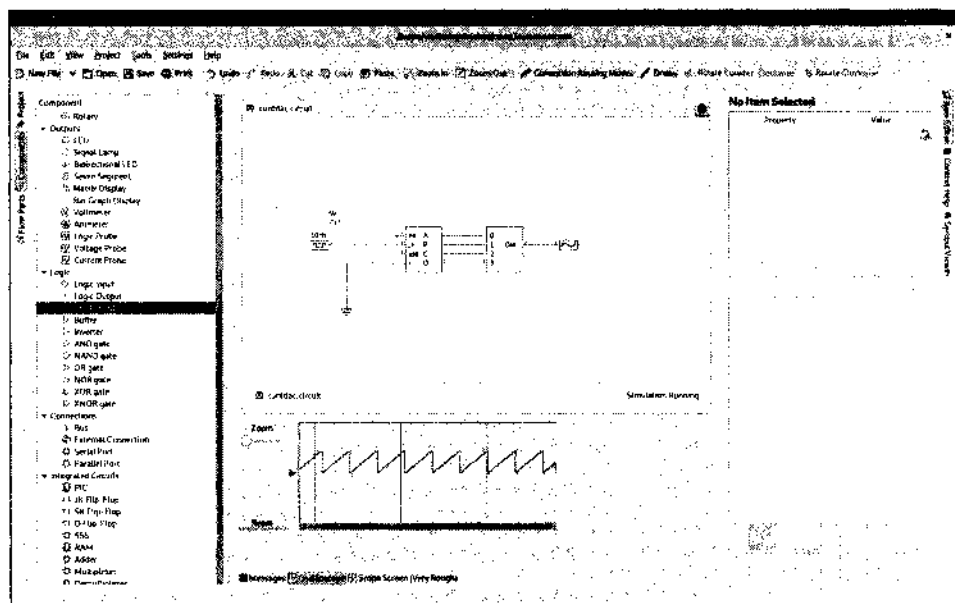


Рис. 24.10. Формирование сигнала с помощью счетчика и ЦАП



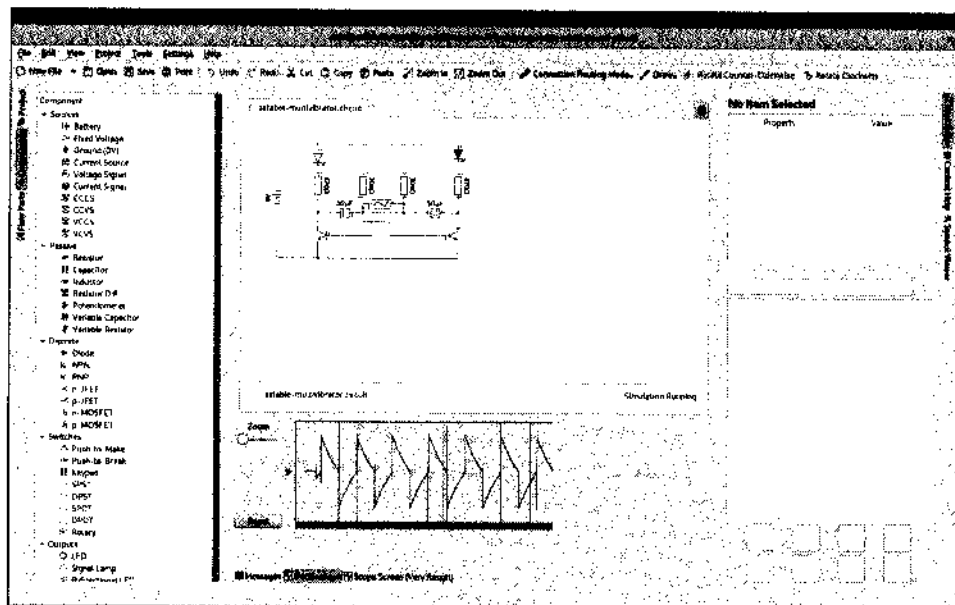


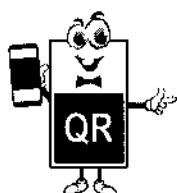
Рис. 24.11. Программа из примеров к KTechlab

Вы можете оценить работу микроконтроллера и цифро-аналогового преобразователя, сравнив два варианта: тот, что показан на рис. 24.9, и тот, что на рис. 24.10.

Я рад, что проект KTechlab возобновил работу, поскольку программа — это хорошее подспорье в изучении и аналоговой, и цифровой, и микроконтроллерной техники. Если у вас современный компьютер с памятью более 4 Гбайт (говорят, что 64-битовые ОС требуют больше памяти), то и VirtualBox, надеюсь, позволит вам без проблем работать с Linux, если вы пользуетесь Windows. В любом случае, так я считаю, интересно познакомиться с бесплатным аналогом популярных программ Flowcode и Proteus. Зайдите в раздел *Help*→*Examples*, там много примеров (рис. 24.11).

# ПРОСТЫЕ РАДИО-САМОДЕЛКИ, КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ИНТЕРЕСНЫ

## Мини-передатчик на одном реле



*Посмотрите, что автор устройства говорит  
о передатчике.  
А вы не хотите порадовать своего ребенка?  
Почитайте!*



У меня нет сомнений в том, что говорит автор, но очень хочется узнать, как оно устроено? А начать следует с колебательного контура. По рисунку трудно определить все параметры, но для начала воспользуемся утилитой программы QucsStudio (*Tools* → *Component Designer*) для определения индуктивности катушки (рис. 25.1). Зададим такие явные параметры:

- ♦ количество витков — 15;
- ♦ диаметр намотки — 7 мм;
- ♦ диаметр провода — 0,3 мм;
- ♦ длина намотки — 5 мм.

С рабочей частотой есть некоторая неопределенность, с которой мы постараемся разобраться.

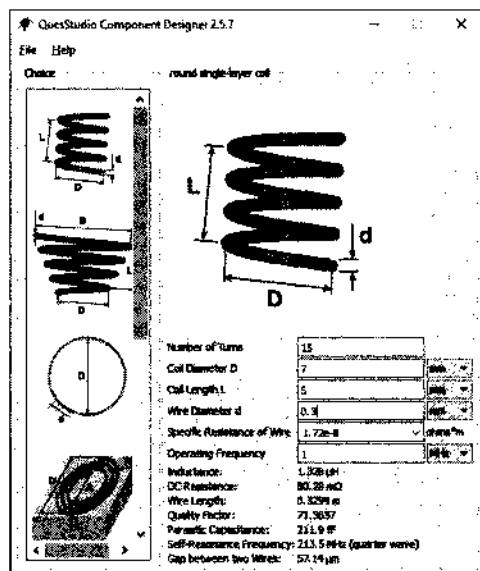
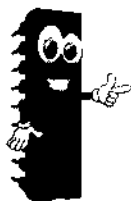


Рис. 25.1. Определение индуктивности катушки



## СПРАВКА.

**Средние волны** (также гектометровые волны) – диапазон радиоволн с частотой от 300 кГц (длина волны 1000 м) до 3 МГц (длина волны 100 м). Средние волны (наряду с короткими) – наиболее используемый диапазон для радиовещания (526,5–1606,5 кГц) с амплитудной модуляцией.

**Длинные волны** (также километровые волны, англ. Longwave (LW), Lowfrequency («Низкие частоты», LF), фр. ondes longues, Bassefréquence («Низкие частоты»), grandesondes («большие волны», GO)) – диапазон радиоволн с частотой от 30 кГц (длина волны 10 км) до 300 кГц (длина волны 1 км). Длинные волны распространяются на расстояния до 1–2 тысяч км за счет дифракции на сферической поверхности Земли. Затем их распространение происходит за счет направляющего действия сферического волновода, не отражаясь.

Диапазон используется для радиовещания (148,5–283,5 кГц; ранее вещательный ДВ-диапазон был 148,5–408 кГц), для радиотелеграфной связи, радионавигационных служб и для связи с подводными лодками (9–148,5 кГц).

Диапазон средних и длинных волн — это от 150 кГц до 3 МГц, есть надежда, что в него мы попадем.

Итак, индуктивность катушки колебательного контура 1,3 мкГн. Постараемся определить емкость конденсатора, исходя из того, что:

$$C = 1/4\pi^2 F^2 L \text{ для частоты } 1,3 \text{ МГц.}$$

Получается емкость 11,5 нФ. Для удобства пусть будет 10 нФ.

В главе 14 был упомянут **преобразователь постоянного напряжения в переменное, вибропреобразователь**. Реле в таком варианте, как его включает автор — это преобразователь постоянного напряжения в переменное, которое и должно служить возбудителем колебаний на резонансной частоте. Воспользуемся программой SimulIDE для моделирования работы схемы (рис. 25.2).

Хотя иной раз программа в Windows 10 иной раз «глючит», но в этот раз, я вижу, как работает реле. Не вижу только ничего на экране осциллографа. Поразмышляв, я вспоминаю, что сопротивление катушки постоянному току 0,08 Ом. Сопротивление катушки реле 100 Ом (так написано в свойствах реле). Делитель напряжения работает так, что на сопротивлении катушки остается меньше милливольт.

Проверим, что у нас получится, если мы добавим сопротивление такого же порядка вместо колебательного контура (рис. 25.3).

Движение есть. И частота в 1 кГц подходящая. Впрочем, эта частота будет зависеть от параметров реле.

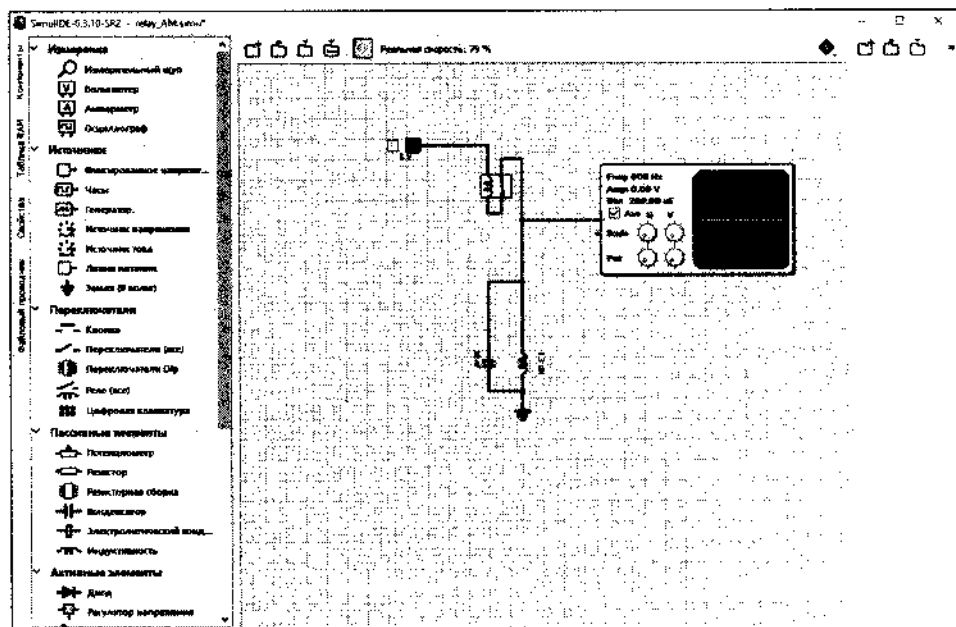


Рис. 25.2. Первое моделирование работы схемы передатчика

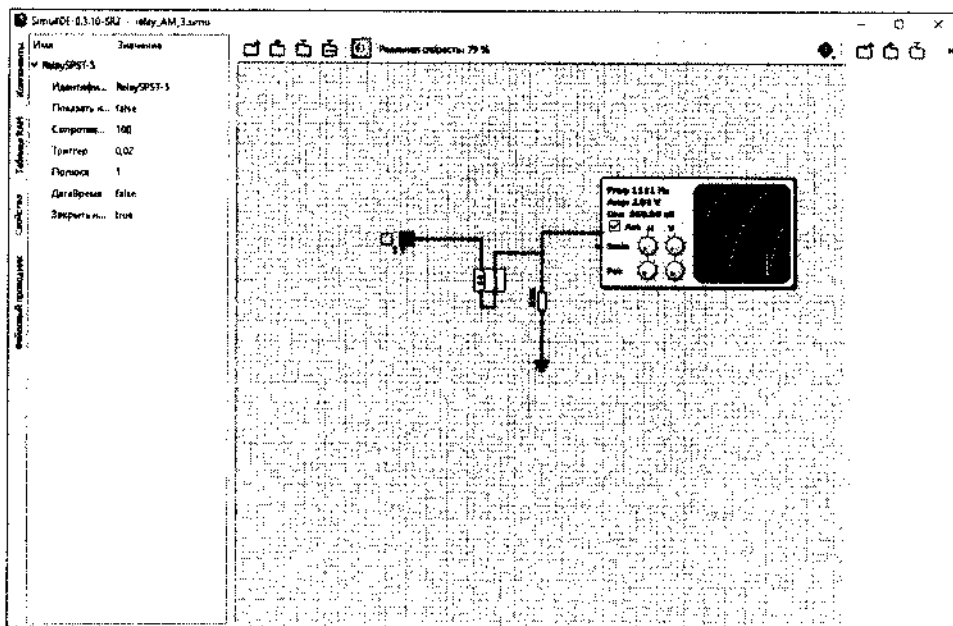


Рис. 25.3. Моделирование схемы без колебательного контура

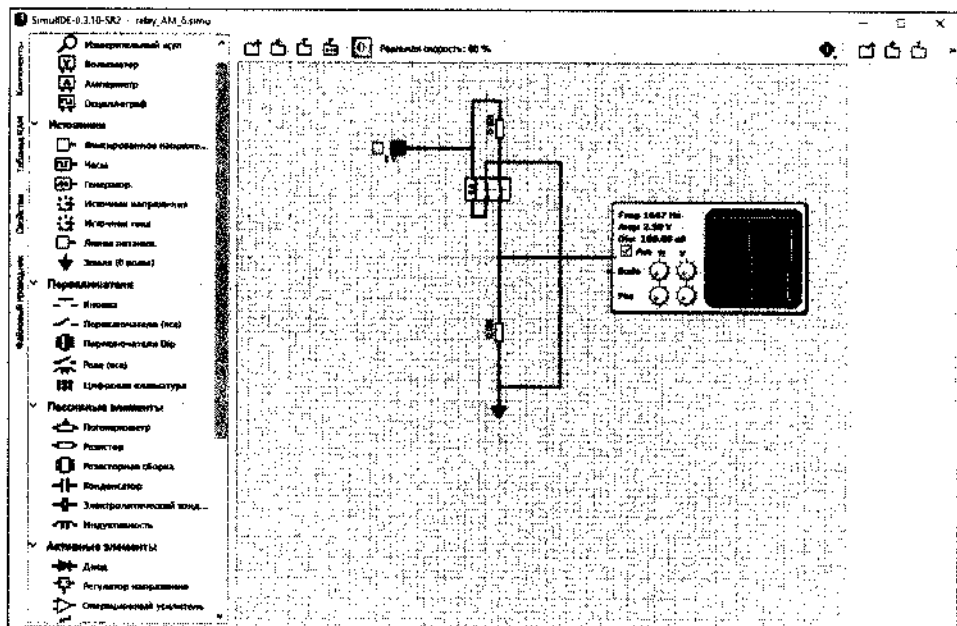


Рис. 25.4. Еще одна проверка программы моделирования

**Радиолюбитель:** Почему импульсы не прямоугольные?

Может быть, программа неверно отображает процесс, или что-то мы неправильно делаем. Проверим программу. Добавим контакты у реле, и заменим реле в исходной схеме обычным резистором, посмотрим, как программа справится с этой задачей (рис. 25.4).

Да, такие импульсы и ожидаешь, исходя из простой логики: реле включено, реле выключено. Но я забыл, что **обмотка реле** — это катушка индуктивности, которая реагирует на резкое включение напряжения минимальным током, что, скорее всего, и отображается на экране осциллографа при моделировании.

**Радиолюбитель:** И у нас ничего не получается?

Если у автора устройства получилось, то и у нас должно получиться. Похоже, что чувствительности осциллографа у SimulIDE не хватит для продолжения опытов, поэтому воспользуемся программой QucsStudio (рис. 25.5). Заменим реле генератором прямоугольных импульсов.

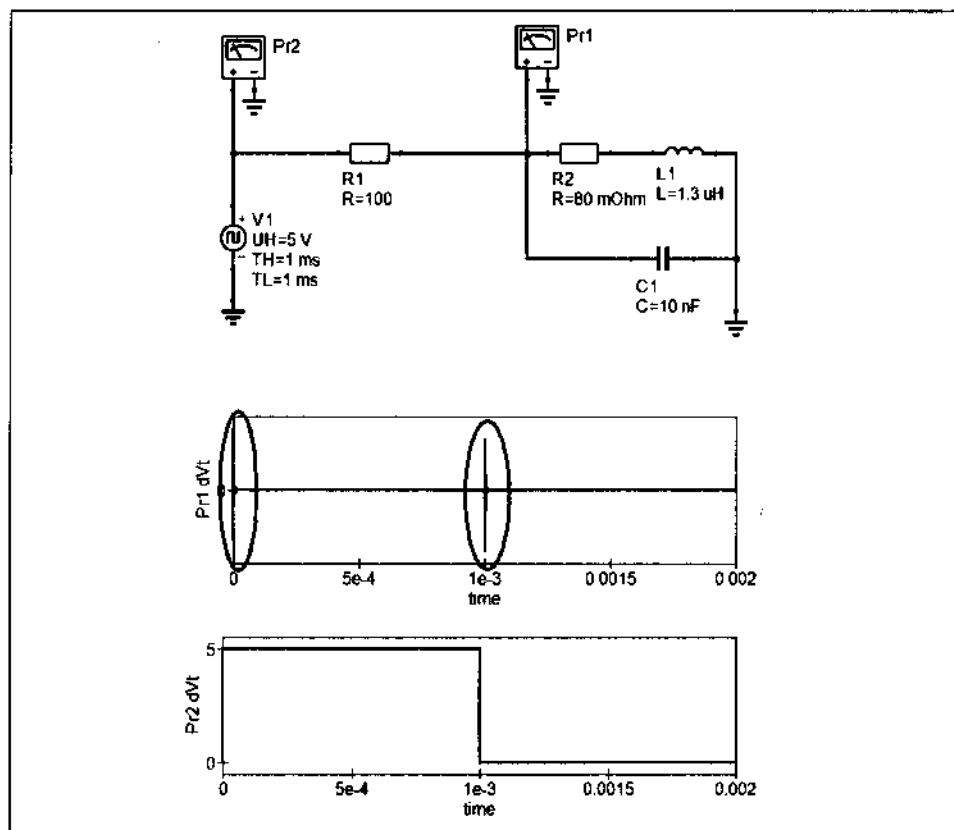


Рис. 25.5. Моделирование схемы с заменой реле генератором

Всплески на фронтах импульсов, отмеченные на **рис. 25.5**, и будут искомыми колебаниями, возникающими в контуре. Но у нас передний фронт импульса может оказаться испорченным. Проверим, что произойдет в этом случае.

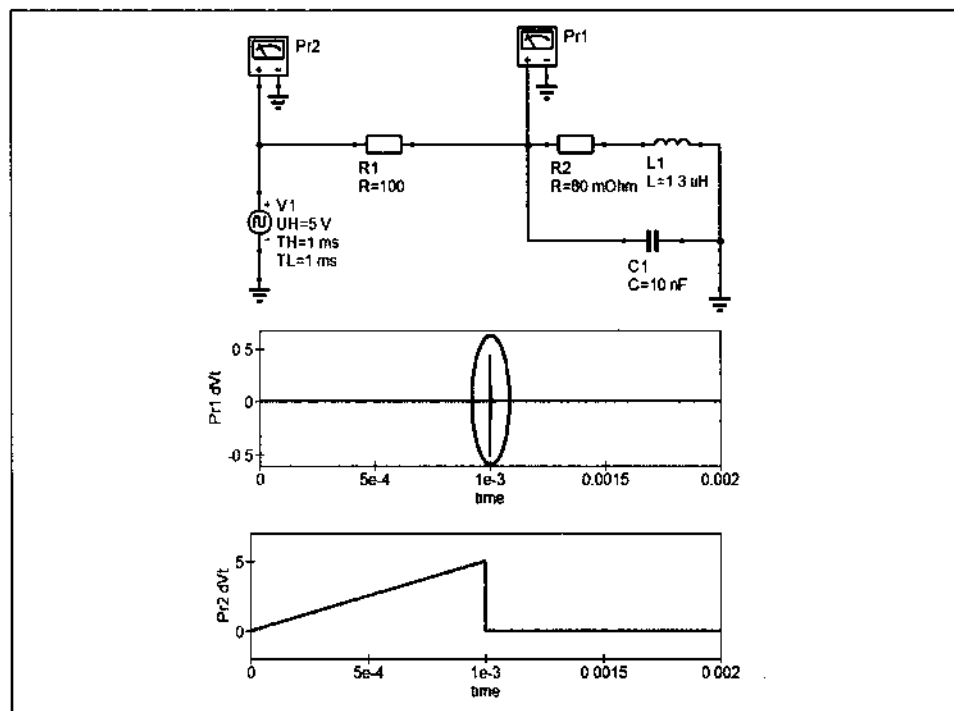
Программа моделирования позволяет получить пилообразные импульсы из прямоугольных. Достаточно в свойствах генератора изменить время нарастания переднего фронта. Исходно у нас время импульса напряжения пять вольт 1 мс, а время нарастания напряжения 1 нс. Сделаем время нарастания напряжения равным 1 мс (**рис. 25.6**).

Что же, быстрый спад напряжения тоже формирует всплеск колебаний. Но колебания так незначительны. Хотя, если рассмотреть их ближе, то они полностью отвечают затухающим колебаниям в параллельном LC контуре. Если вас это интересует, то измените свойства диаграммы:

- откройте закладку *Limits* свойств графика;
- отметьте окошко *manual*.

Становятся активными окна *start*, *step*, *stop*. Запишите в них последовательно значения: 0,001, 1e-05, 0,00102.

После этой настройки вы можете отметить маркерами (напомню, на инструментальной панели иконка с буквой *m* в правом углу) две



**Рис. 25.6.** Изменение формы импульсов генератора

соседние амплитуды, увеличить количество знаков до 5 в отметках маркера, и получить значение частоты колебаний.

Но вернемся к «всплескам».

**Радиоловитель:** *Что не так с колебаниями?*

Мы использовали генератор напряжения. Вспомним, что он как идеальный источник напряжения имеет нулевое внутреннее сопротивление. Поэтому наш колебательный контур шунтирован сопротивлением 100 Ом. Если бы режим колебаний был установившимся, то сопротивление колебательного контура можно было определить по формуле:

$$R_{\text{рез}} = L/RkC$$

А это около 1,5 кОм.

Хорошо, но для реле, контакты которого размыкаются, это не так, нет шунтирования. Как бы нам промоделировать эту ситуацию... Добавим диод, обратное сопротивление которого, будем надеяться, «одолеет» шунтирование резистором (рис. 25.7).

Теперь мы получили не всплеск, а типичные затухающие колебания в контуре. Они-то и уйдут в эфир. Согласитесь, очень интересное устройство предложил автор этого проекта!

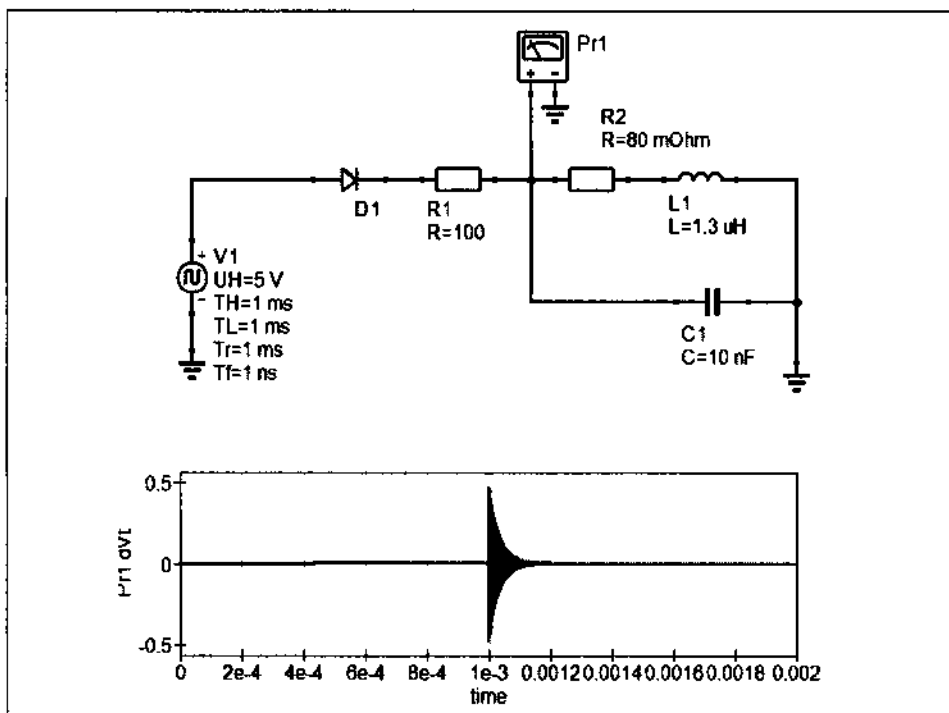
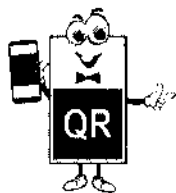


Рис. 25.7. Изменение схемы опыта с генератором



## Маломощный АМ-передатчик



Еще один вариант передатчика на частоту 27 МГц.  
Автор не только приводит схему и рассказ о ней, но и осциллограммы, и вид макетной платы.



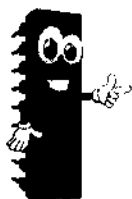
И в этом случае, чтобы получить представление о работе схемы, начнем с выяснения индуктивности катушки (**рис. 25.8**).

Примем индуктивность первичной обмотки 1 мкГн. Все остальные компоненты схемы есть, можно приступить к моделированию.

О моделировании генераторов с кварцевым резонатором мы говорили в **главе 32**. Генератор — обязательный атрибут передатчика.

### Радиолюбитель: Почему частота 27 МГц?

Выбор частоты автором проекта не касается генератора или схемы, причина в другом.



### СПРАВКА.

**Си-Би** — сокращение от слов «гражданский диапазон» (англ. CB, Citizen's Band). Сокращение принято для обозначения безлицензионной, доступной всем гражданам радиосвязи на коротких волнах в диапазоне 27 МГц (в некоторых странах «CB» обозначает любой вид безлицензионной радиосвязи на любых свободных диапазонах). В зависимости от страны использование этого диапазона либо минимально регламентируется правилами проведения локальных связей, либо не регламентируется вовсе.

Средства радиосвязи этого диапазона представляют собой носимые, возимые или стационарные радиостанции, отличающиеся, как правило, от радиолубительских и профессиональных радиостанций более низкой ценой, меньшим количеством функций (отсутствие телеграфного режима, однополосной модуляции, репитерного сдвига, тоновых и кодовых шумоподавителей, транковых модулей и т. п.), более скромными техническими характеристиками, меньшими ударопрочностью и влагостойкостью. Как исключение, серийно производятся радиостанции гражданского диапазона с расширенными функциями для радиолубителей и фанатов радиосвязи.

Википедия

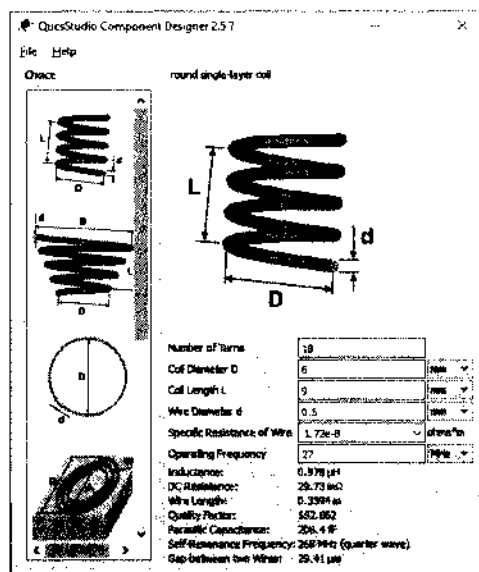


Рис. 25.8. Индуктивность катушки для данной схемы

Соберем схему, которая похожа на оригинальную, но с некоторыми изменениями. Вместо трансформатора для связи с источником низкочастотного сигнала используем генератор треугольных импульсов (рис. 25.9).

Генератор треугольных импульсов выполнен настройками генератора прямоугольных импульсов. Можно было бы использовать и прямоугольные импульсы, но так получается «эффектней», согласитесь.

С транзистором 2N2222A схема моделироваться не пожелала. Это так. Но меня об этих особенностях уже предупреждали, поэтому в библиотеку (вернее, в проект, касающийся моделей транзисторов) были добавлены транзисторы, которые хорошо работают в генераторах с кварцевыми резонаторами.

Попытки использовать трансформатор связи с источником звука не увенчались успехом, хотя я не стал настаивать. Более того, скажу, что немного «сжульничал» при создании генератора. Чтобы эта схема генератора моделировалась, я заменил кварц конденсатором емкостью 300 пФ. Но для красоты оставил кварц, параллельную емкость которого в свойствах кварца увеличил до этого значения. Получилось нечестно, это так, но зато работает.

Есть еще одна особенность моделирования схемы: попытка уменьшить постоянное питающее напряжение до 10 вольт приводит к срыву процесса.

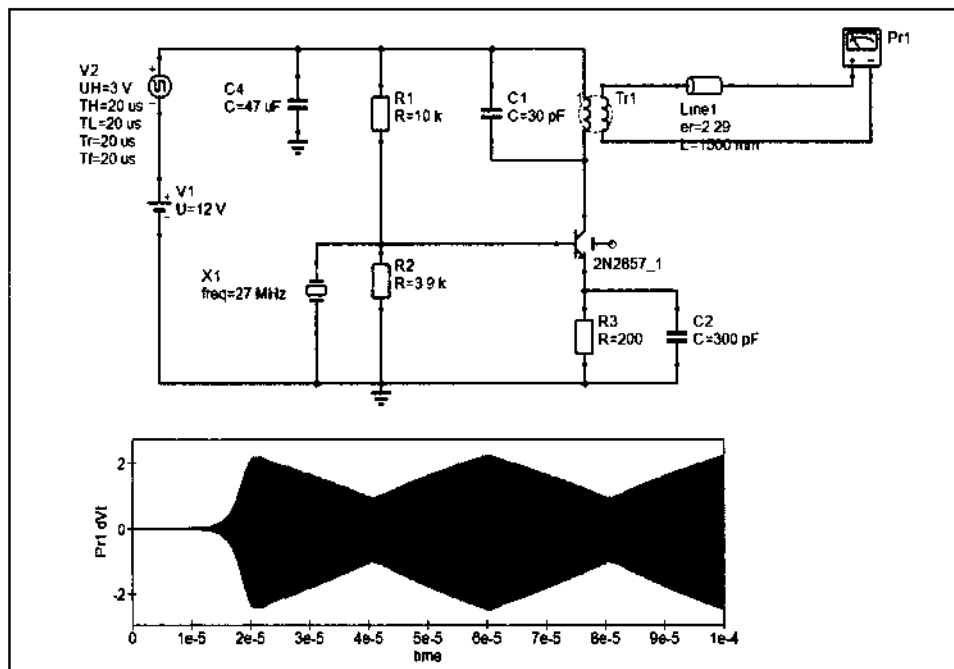


Рис. 25.9. Моделирование передатчика на частоту 27 МГц

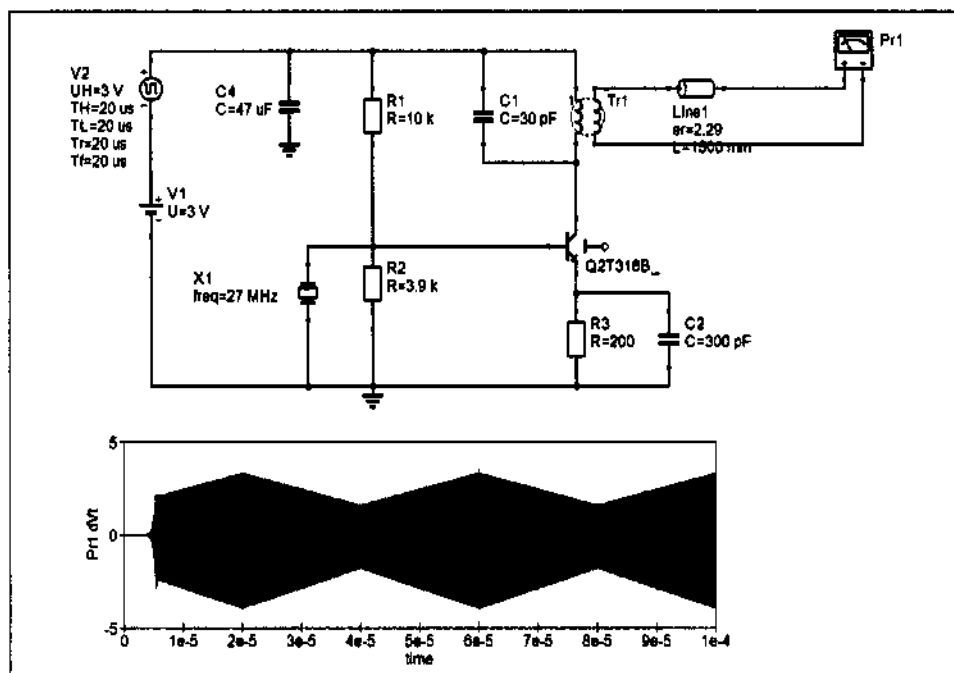


Рис. 25.10. Моделирование схемы с транзистором КТ316

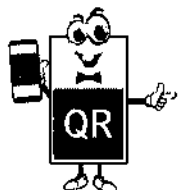
Но есть еще возможность поменять транзистор. Отечественный КТ316 тоже хорошо работает в подобных случаях (рис. 25.10).

И при моделировании напряжение питания можно уменьшить и до 3 вольт. Но это все разговоры о моделировании. Если вы надумаете создать передатчик, то лучше почитайте все, что пишет автор проекта. Он не только говорил о схеме, он ее проверил на практике. А практика — лучший ответ на вопрос о работоспособности любого устройства.

## УКВ-ЧМ передатчик

**Радиолюбитель:** Почему все амплитудная да амплитудная модуляция?

Не только... Про частотную модуляцию мы говорили в главе 3. Этот вид модуляции эффективен в диапазоне УКВ, хотя сегодня это не вызывает больших затруднений. Важно выбрать правильную настройку частоты, чтобы не мешать окружающим и не вызвать вопросы у контролирурующих организаций. Впрочем, это касается и других радиодиапазонов.



Передатчик, работающий на частоте 83 МГц, можно собрать по схеме, предлагаемой автором. Дополнительный интерес вызывает применение варикапа.



С моделированием этой схемы есть ряд проблем. Найти подходящие модели транзистора и варикапа, я думаю, либо не получится, либо будет очень сложно. Вот оригинальная схема автора (рис. 25.11).



Рис. 25.11. Оригинальная схема передатчика FM

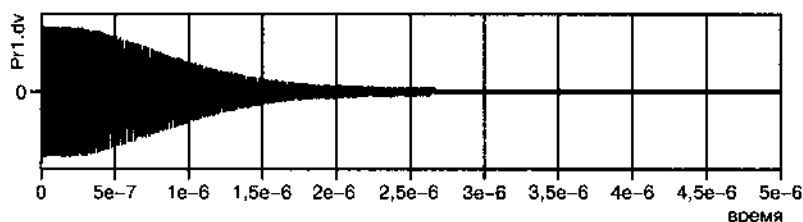


Рис. 25.12. Поведение схемы на интервале в 5 микросекунд

В программе QucsStudio я сделал несколько попыток добавить полевой транзистор КП305, используя найденную Spice-модель. Но с этой моделью программа работать не захотела. Небольшие изменения к лучшему получились при использовании программной модели, но сдвиг к лучшему, скажем прямо, очень условный. И вот почему (рис. 25.12).

Я не берусь ничего утверждать, но рассматривая схему как усилитель, можно увидеть, что используемая схема в программе QucsStudio имеет фактор Роллета больше единицы. То есть, усилитель будет устойчив. Напомню о факторе Роллета.



#### СПРАВКА.

Статья от 1962 года Джона Роллета «Инварианты устойчивости и коэффициента усиления линейных двухпортовых систем» навсегда связали его имя с фактором стабильности  $K$  усилителя. Фактор стабильности Роллета один из путей определить, будут ли у вас проблемы или нет.  $K$ -фактор, если он больше единицы, говорит вам, что ваш усилитель безусловно стабилен. Если  $K$  меньше единицы, у вас могут быть проблемы. Ниже представлены уравнения для  $K$ -фактора:

$$K = (1 - S_{11}^2 - S_{22}^2 + \Delta^2) / 2S_{21}S_{12}$$

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

Заметьте, что  $K$ -фактор определен только для двухпортовых цепей. Это значит, что вы не увидите ни  $S_{31}$ , ни  $S_{33}$  и т. д. в уравнении. Хороший усилитель обычно имеет  $K$ -фактор не ниже 1,5 во всем заданном диапазоне частот.

Но небольшой эксперимент можно проделать на начальном участке моделирования (рис. 25.13). В качестве варикапов использованы аналоги, катушка индуктивности с отводом от середины заменена двумя

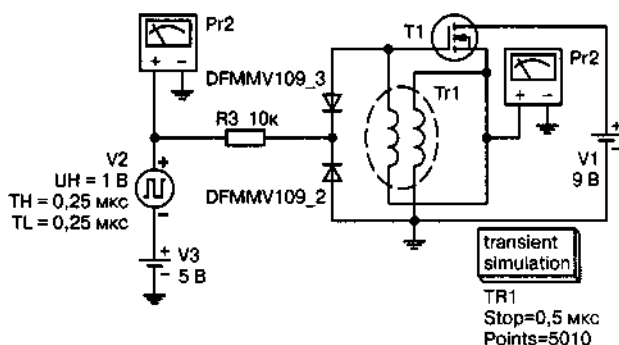


Рис. 25.13. Моделирование FM передатчика

индуктивно связанными катушками. Индуктивность каждой половины (здесь каждой катушки) около 105 нГн. Это значение можно получить, как и раньше, используя утилиту QucsStudio. Генератор V2 используется для имитации источника звука. Результаты моделирования отображаются на диаграммах (рис. 25.14).

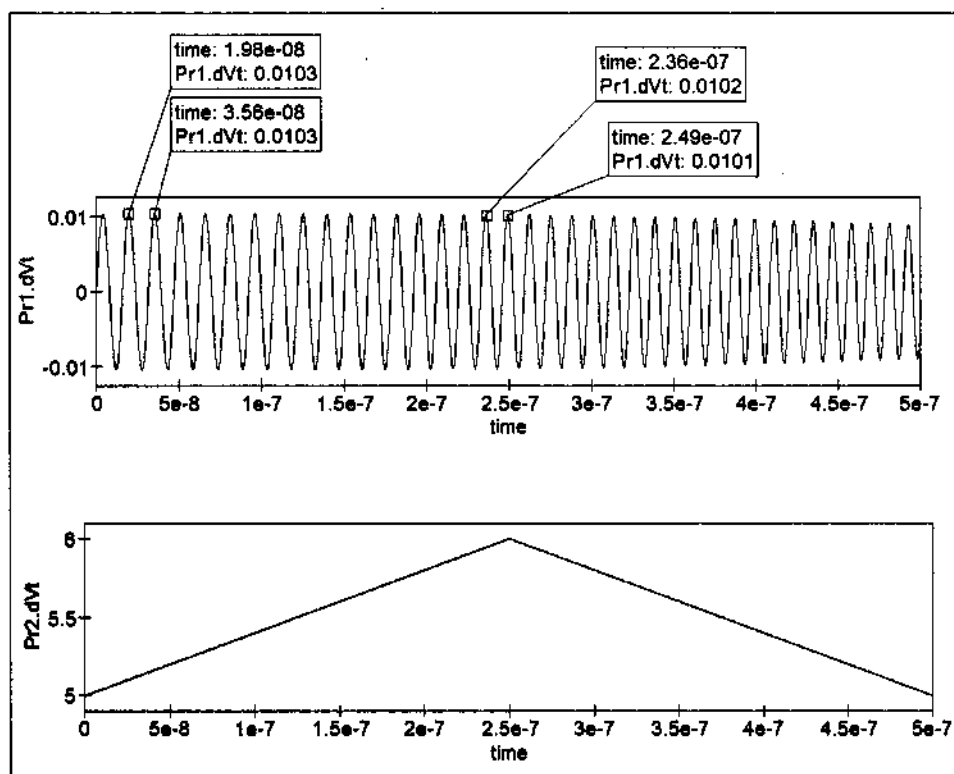
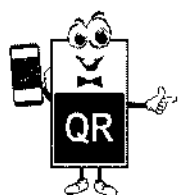


Рис. 25.14. Диаграммы результатов моделирования FM передатчика

Определяя частоту при напряжении «источника звука» 5 В и 6 В по периоду, можно сказать, что частота меняется от 63 МГц до 77 МГц. То есть, частотная модуляция имеет место. Но лучше, конечно, проверить работу устройства хотя бы на макетной плате.

## Крошечный тестовый передатчик для FM

Не задалось моделирование с предыдущей схемой, но есть надежда, что заработает следующая.



FM передатчик с генератором, собранном по схеме емкостной трехточки с кварцевым резонатором.



### СПРАВКА.

Генератор Колпитца (емкостная трехточка), названный в честь его изобретателя Эдвина Колпитца, является одной из множества схем электронных генераторов, использующих комбинацию индуктивности (L) с емкостью (C) для определения частоты, также называется LC генератором. Одной из ключевых особенностей генераторов этого вида является их простота (нужна только одна индуктивность без отводов). Напряжение обратной связи снимается с емкостного делителя напряжения.

Википедия

Собираем предложенную автором проекта схему (рис. 25.15)...

...собираем схему... собираем, чтобы убедиться: моделироваться схема не желает. Какое-то поветрие на моделирование схем.

То есть, схема не отказывается моделироваться, но результат, мягко говоря, не убедительный. Транзисторы я менял, последним использовал просто транзистор р-п-р, а не модель реального транзистора. Иногда это помогает. На диаграмме быстро затухающие колебания, обязанные своим появлением, я думаю, колебательному контуру C1L1.

Кстати, посмотрим, какова резонансная частота контура. Можно ее рассчитать, используя формулу:

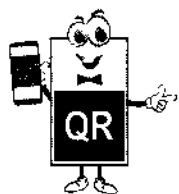
$$F_{рез.} = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

Подставляя значения емкости и индуктивности, получаем частоту 120 МГц. Может быть, меня подвел калькулятор, но я могу проверить это с помощью программы QucsStudio (рис. 25.16).

Получается, что подсчет был правильным, а колебательный контур не «главное действующее лицо». Тогда я хочу поступить иначе.

Когда-то, задумавшись о том, что я забыл, как работает генератор по схеме емкостной трехточки, я нашел в Интернете статью Андреевской Т.М. После прочтения статьи, я запомнил надолго, что условием самовозбуждения генератора должно быть равенство суммы реактивных сопротивлений конденсаторов и реактивного сопротивления индуктивности:

$$X_{бэ} + X_{эк} + X_{кб} = 0$$



Вы можете прочитать статью на этом сайте. На «народе» давно уже реклама одолевает, но потерпите несколько секунд, статья стоит того.

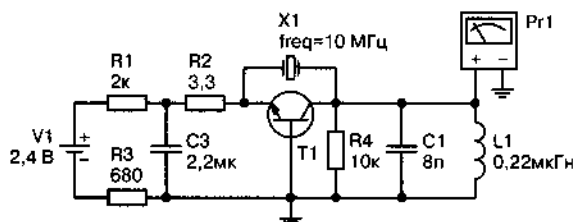


Рис. 25.15. Схема проекта

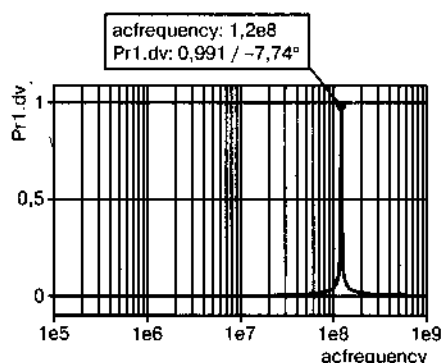


Рис. 25.16. Проверка резонансной частоты LC-контура

Переделав схему на свой лад, я получаю устойчивую генерацию (рис. 25.17).

Теперь схема моделируется и после замены транзистора «вообще» на модель реального представителя биполярных транзисторов. Проверяя разные модели, можно обнаружить, что рабочая частота генератора несколько меняется.

Это справедливо. На рабочую частоту оказывают влияние все емкости и индуктивности реальной схемы. То есть, реальная модель транзистора должна привносить изменения. При этом одни модели работают с большими нелинейными искажениями, а другие этим «не страдают» (рис. 25.18).



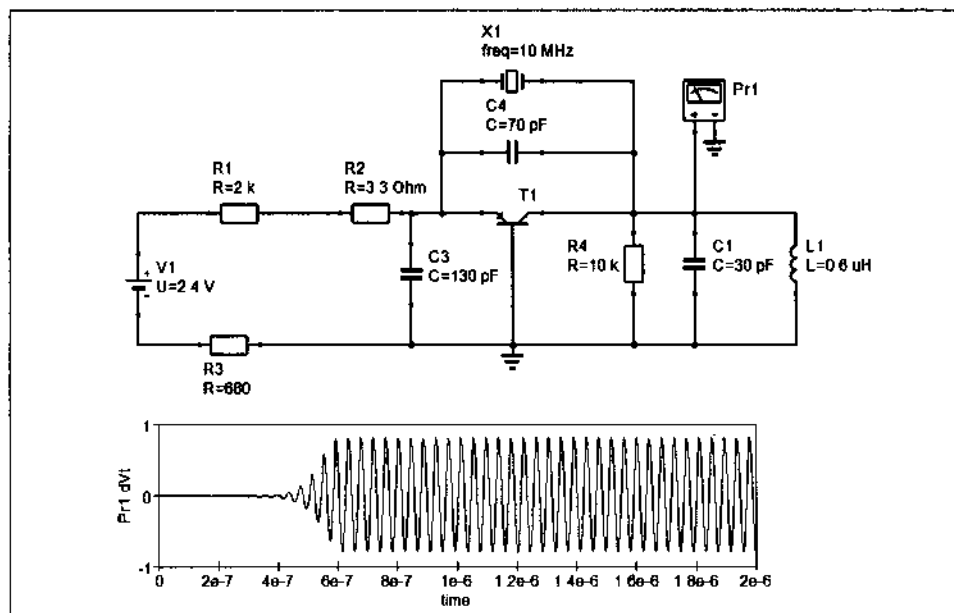


Рис. 25.17. Генерация после изменений в схеме

Остается проверить, как сказывается напряжение питания на рабочей частоте генератора. Именно добавление напряжения от источника звука должно повлиять на работу схемы. Если частота будет меняться, мы можем ожидать, что частотная модуляция будет осуществлена. Сравнивая диаграммы при двух напряжениях питания: 1,4 В и 2,4 В, — получим два периода колебаний.

В первом случае  $0,045 \times 10^{-6}$ , во втором случае  $0,047 \times 10^{-6}$ , что отвечает рабочим частотам 22,2 МГц и 21,2 МГц.

**Радиолюбитель:** Почему моделирование не получилось в первый раз?

Видимо, у автора проекта хорошо совпали параметры транзистора, в частности, емкость база-эмиттер транзистора, параллельная емкость кварцевого резонатора и паразитные емкости: корпуса кварца и транзистора. Можно повторить первый опыт, изменив некоторые параметры компонентов моделирования (рис. 25.19).

Частота генерации в этом случае около 62 МГц. При увеличении емкости конденсатора C5 с 220 пФ до 2,2 мкФ генерация опять срывается. Но эти детали следует уточнять при макетировании, поскольку не всегда удастся учесть все детали при моделировании.

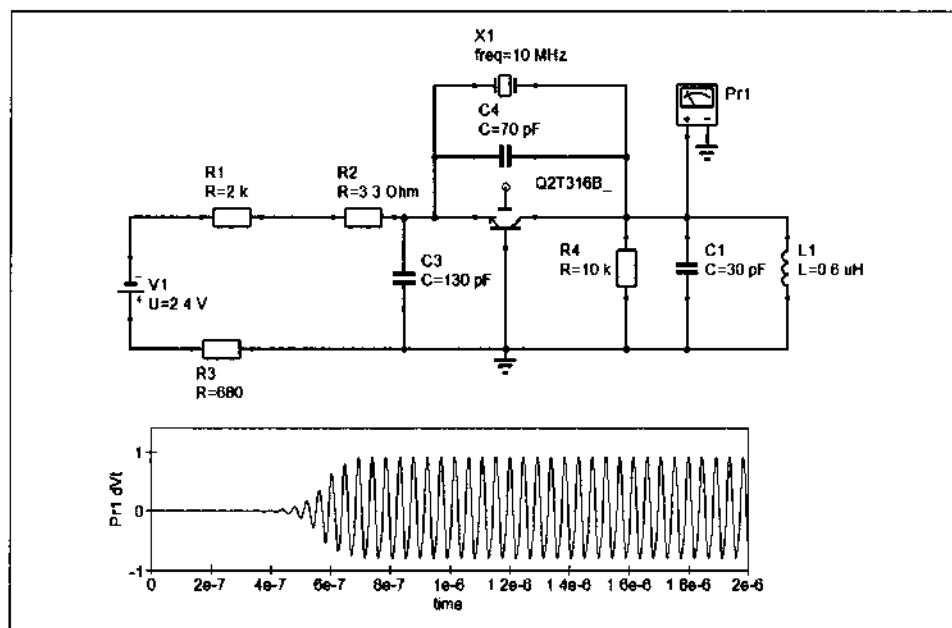


Рис. 25.18. Моделирование с транзистором КТ316

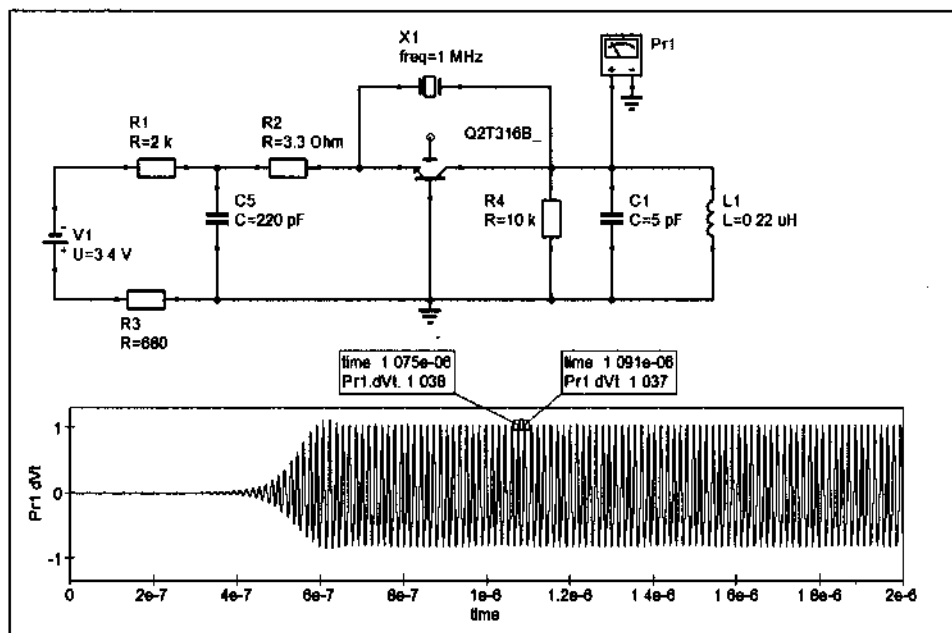


Рис. 25.19. Моделирование измененной схемы

## АМ-радиоприемник на микросхеме TA7642

Эту микросхему, похоже, выпускают разные производители под разными названиями. Но сути это не меняет: микросхема в корпусе маломощного транзистора, легко спутать, представляет собой радиоприемник. Нужно добавить только несколько деталей, чтобы радиоприемник заработал от батарейки в 1,5 В. Не устаешь восхищаться инженерной изобретательностью (рис. 25.20).

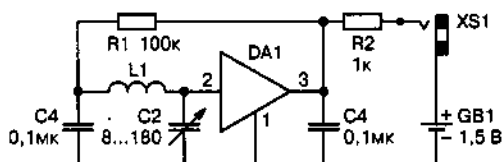


Рис. 25.20. Радиоприемник на микросхеме

В главе 17 мы говорили о чтении схем. А в сопроводительной документации на микросхему TA7642 есть эквивалентная схема этого устройства. Попробуем «прочитать» эту схему.

Начнем с того, что разобьем схему на функциональные узлы. На транзисторах T1—T4 выполнен входной блок микросхемы. На транзисторах T5—T7 собран усилитель. А транзисторы T8—T10 должны, наверное, играть роль детектора.

Есть, я в этом не сомневаюсь, некоторая неопределенность — транзисторы, применяемые для создания микросхемы, могут быть «особенными», о свойствах которых мы ничего не знаем. Но могут и не быть особенными. Мы же не собираемся выпускать микросхему с нашей маркировкой!

**Радиолюбитель:** Рассказ о схеме микросхемы начат, а где же схема?

Мое упущение, вот схема (рис. 25.21).

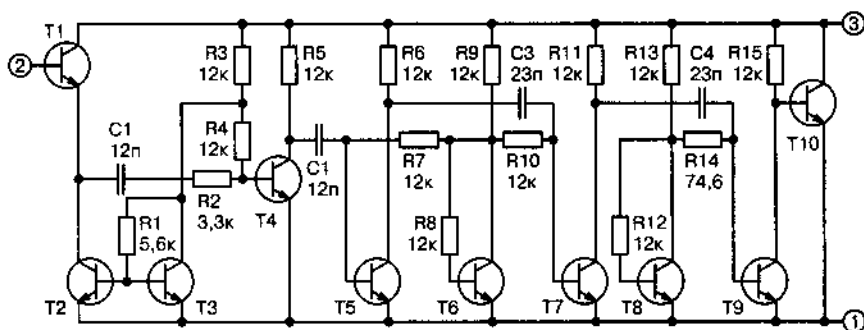
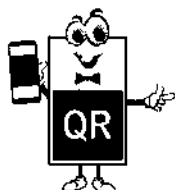


Рис. 25.21. Эквивалентная схема из описания TA7642

Хорошо бы определить, какую частоту несущей мы будем использовать в экспериментах. В сопроводительной документации к микросхеме МК484 (одно из названий) приведены данные для намотки катушки на стержень. Определим хотя бы приблизительно индуктивность этой катушки (L1 на рис. 25.20). Воспользуемся калькулятором.



*Калькулятор для расчета числа витков катушки при заданной индуктивности и параметрах ферритового стержня.*



Получается индуктивность порядка 400 мкГн. Конденсатор переменной емкости имеет диапазон от 8 пФ до 180 пФ. При таких параметрах приемник будет работать в диапазоне от 600 кГц до 3 МГц. Поэтому ничто не мешает нам выбрать частоту 1 МГц для экспериментов. Но это несущая частота, а частоту сигнала выберем равной 100 кГц. Приемнику, думаю, это не мешает, а диаграммы получатся проще. Итак, входной узел (рис. 25.22).

Входной каскад выполнен по схеме с общим коллектором. В качестве нагрузки первого каскада использован источник тока транзисторах BC847\_2 и BC847\_3 (по схеме рис. 25.22). Входной узел почти не дает

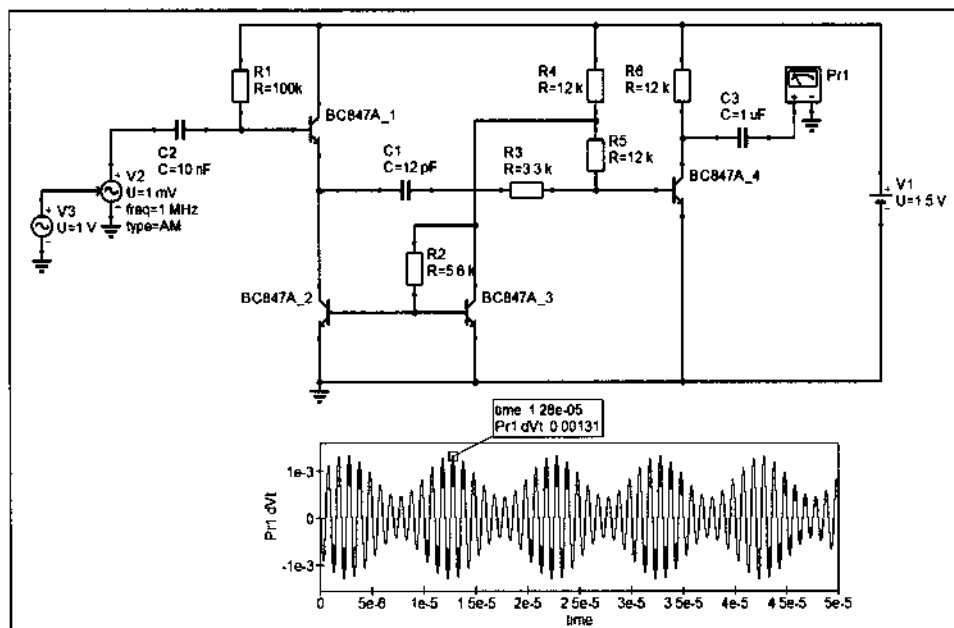


Рис. 25.22. Входной узел микросхемы TA7642

усиления. Сигнал на выходе имеет амплитуду около 1,3 мВ при входном сигнале в 1 мВ.

**Радиоловитель:** *Зачем нужны транзисторы кроме входного, если усиления нет?*

Поскольку мы начали экспериментировать в программе QucsStudio, то поищем ответ на этот вопрос моделированием ситуации. Ток в цепи эмиттера первого транзистора около 70 мкА при напряжении питания 1,5 В. Давайте заменим транзистор (оба транзистора) эквивалентным резистором, предположив, что напряжение в цепи эмиттера равно половине питающего напряжения. То есть, заменим резистором 12 кОм (рис. 25.23).

Если усиление входного узла было невелико, подумаешь в 1,3 раза, то теперь оно стало чуть не в сто раз меньше.

Входное сопротивление в справочных данных указано как 3—4 МОм, но пока в этом нет уверенности, поскольку и в тестовой схеме описания используют конденсатор емкостью 10 нФ, но это, конечно, не основание для утверждения чего-либо.

Но становится ясно, почему многие схемы усилителей, и операционных усилителей, и усилителей звука, и входной каскад этой микросхемы, во многих случаях применяют токовое зеркало или источник тока в качестве нагрузки первых каскадов.

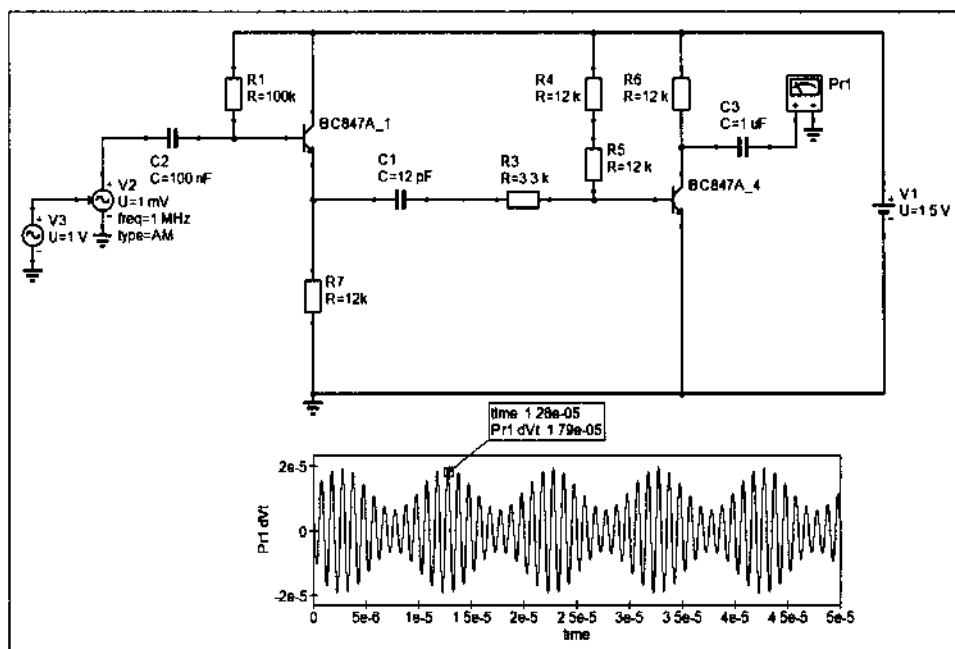


Рис. 25.23. Усиление входного узла при замене нагрузки в первом каскаде

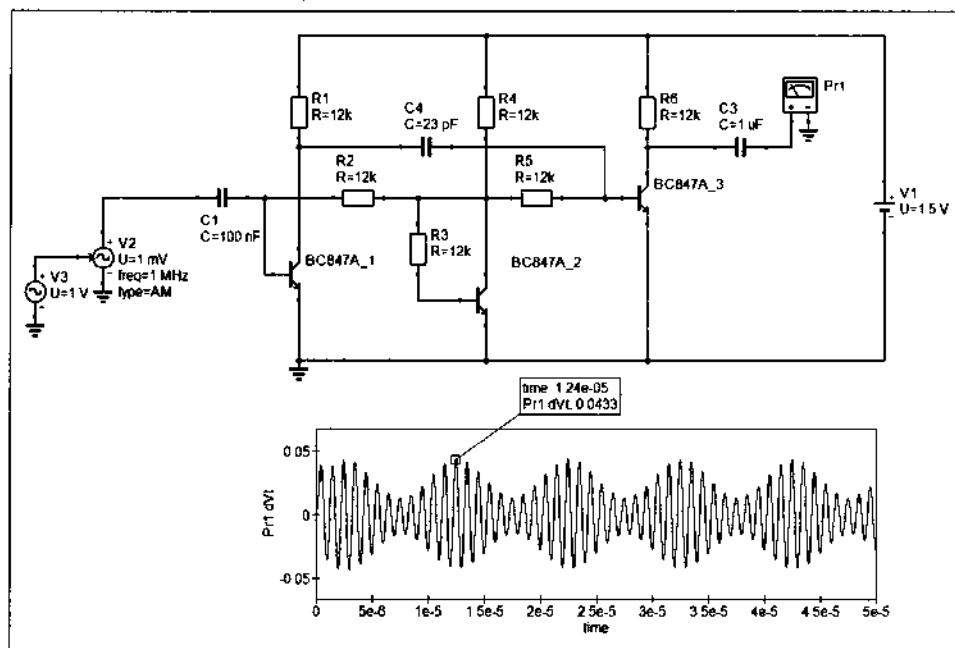


Рис. 25.24. Узел усиления микросхемы

Рассмотрим **второй узел микросхемы**. Все транзисторы включены по схеме с **общим эмиттером**. Но, похоже, что первые два транзистора работают не совсем стандартно (рис. 25.24).

Формально на коллекторе первого транзистора сигнал в противофазе с входным, а на коллекторе второго — в фазе. В этом случае параллельная обратная связь через резистор R2 (на рис. 25.24) получается положительной.

Но проверка этого предположения не подтверждает его. Схема построена так, что напряжение на входе первого транзистора и напряжение на выходе второго транзистора оказываются противофазными (рис. 25.25).

Усиление по напряжению этого узла в 40 раз, скорее всего, дает основное усиление всей схемы.

Наконец, **последний узел**. Рабочую точку второго транзистора определит первый транзистор. С его выхода сигнал попадает на последний транзистор, включенный по схеме с общим эмиттером и нагрузочным сопротивлением, которое подключено к питанию.

Зависит ли детектирование сигнала от выбора рабочей точки второго транзистора, сказать сложно. Однако на выходе последнего транзистора нужно получить огибающую радиосигнала. Проверим, так ли это (рис. 25.26).

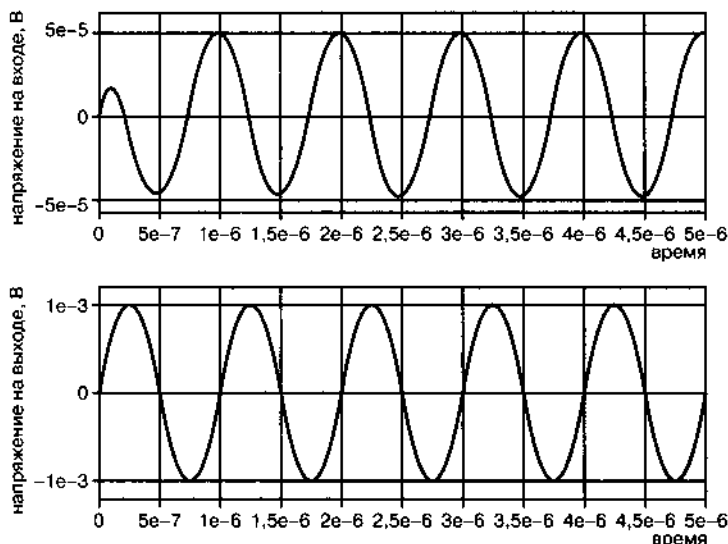


Рис. 25.25. Диаграммы сигналов на входе первого транзистора и выходе второго

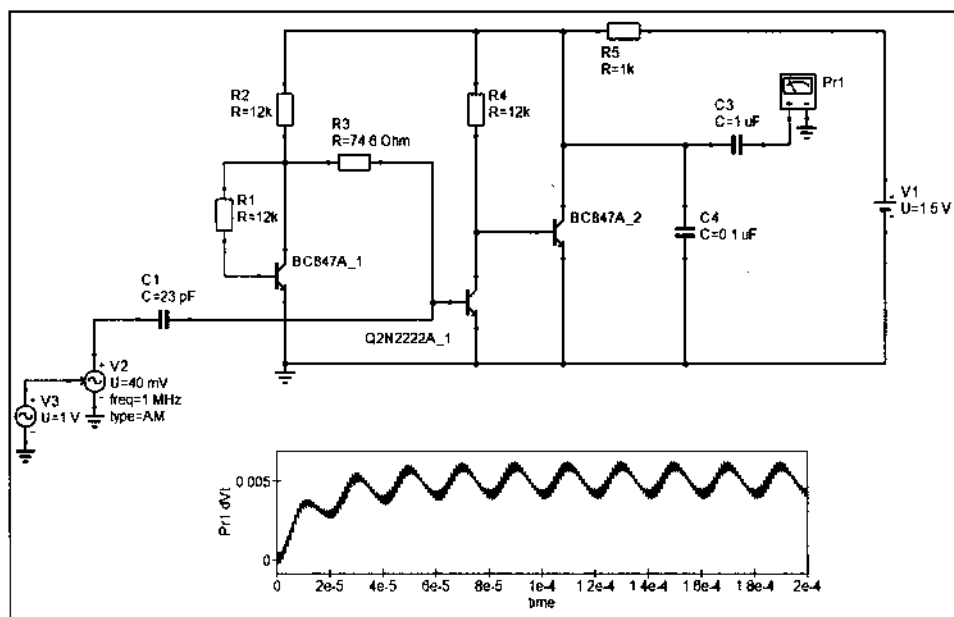


Рис. 25.26. Выходной сигнал микросхемы

Мы попробовали разобраться в обустройстве функциональных узлов микросхемы. Пришло время соединить их вместе, чтобы посмотреть на реакцию микросхемы на существенное изменение входного сигнала (рис. 25.27).

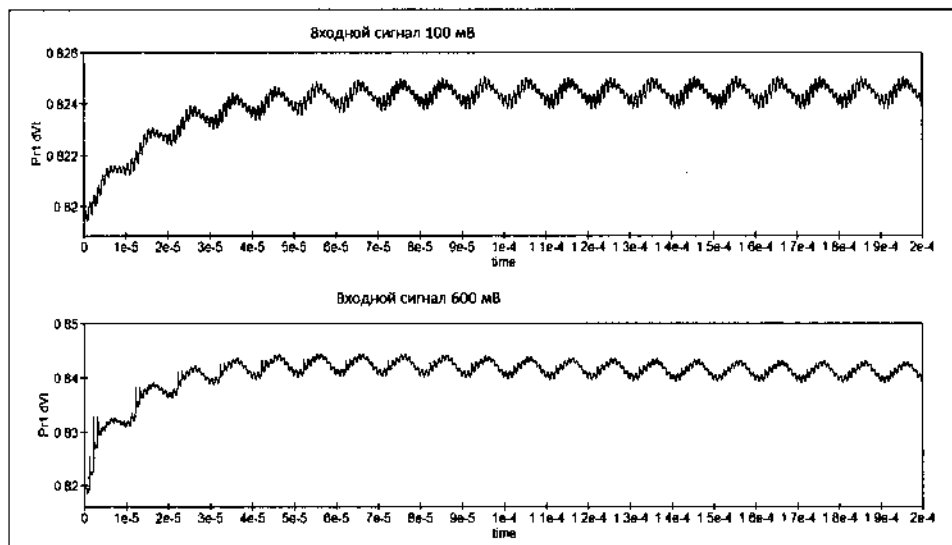


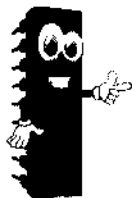
Рис. 25.27. Выходной сигнал микросхемы при разных уровнях сигнала на входе

Я не думаю, что мы правильно и полностью разобрали работу микросхемы. Но попытаться разобраться в том, как она может работать, было интересно. Может быть, было и полезно. А как думаете вы?

## FM-синхронный приемник



Описание работы приемника и оригинальная схема в проекте автора. Речь пойдет о синфазном демодуляторе частотно-модулированного сигнала.



### СПРАВКА.

**Демодуляция (детектирование сигнала)** – процесс, обратный модуляции колебаний, выделение информационного (модулирующего) сигнала из модулированного колебания высокой (несущей) частоты.

Одним из самых распространенных методов демодуляции амплитудно-модулированных сигналов является **синхронное детектирование**. При синхронном детекти-



ровании амплитудно-модулированный сигнал умножается на опорное немодулированное колебание с частотой несущего колебания, затем получившийся сигнал пропускается через фильтр нижних частот. В результате умножения получается сигнал, состоящий из двух слагаемых, первое из которых прямо пропорционально исходному модулирующему сигналу, а второе — амплитудно-модулированному сигналу с удвоенной несущей частотой. Второе слагаемое подавляет фильтр нижних частот, таким образом остается сигнал, прямо пропорциональный исходному информационному сигналу.

При балансной и однополосной модуляциях также можно использовать синхронное детектирование, но при этом возникает сложность в получении в приемнике несущего колебания, синфазного с приходящим сигналом, так как в спектре таких сигналов отсутствует несущая частота. При частотной и фазовой модуляциях в результате синхронного детектирования выделяются низкочастотные квадратурные составляющие, из которых затем с помощью специальных алгоритмов получается информационный сигнал. Для получения опорного сигнала с немодулированной несущей, равной несущей частоте входного сигнала приемника, в приемнике можно использовать фазовую автоподстройку частоты.

Википедия



### ПРИМЕЧАНИЕ.

Вот, что пишет о своем проекте автор. «Хотелось бы, чтобы небольшие приемники УКВ не использовали сложную схему демодуляции ЧМ. Использование емкостного трех точечного генератора в синфазном демодуляторе упрощает эту задачу».

Схема начинается с генератора по схеме трехточки при включении транзистора с общей базой. В прошлый раз при попытке моделирования возникли проблемы. Поэтому в этот раз обойдемся без моделирования. Вот схема автора статьи (рис. 25.28).

По словам автора, варикап настраивает приемник, а резистор R2, снижая избирательность контура, расширяет полосу захвата несущей частоты. Резистор R5 и конденсаторы C4C7 — это фильтр, призванный

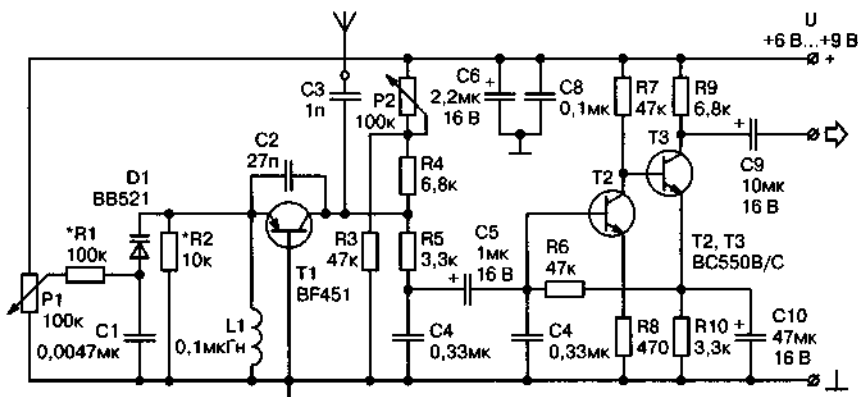
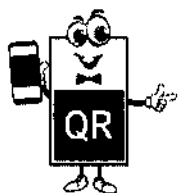


Рис. 25.28. Схема FM-приемника

убрать «остатки» несущей частоты. На транзисторах T2, T3 реализован простой усилитель звуковой частоты для наушников.

Проверять работу схемы предстоит вам, если она вас заинтересовала. Но предварительно прочитайте авторское описание схемы.

## Регенеративный коротковолновый приемник



Это схема автора предыдущей статьи. Регенеративный приемник использует, похоже, положительную обратную связь.



Схемы регенеративных приемников прямого усиления применяли в ряде конструкторов для любителей давно. Суть эффекта в том...

Впрочем, отчего бы не выявить особенности строения регенеративной схемы с помощью моделирования (рис. 25.29).

Особенность схемы — в наличии катушки обратной связи L1. Катушки 2 и 3 намотаны вместе, чтобы между ними была хорошая индуктивная связь. Катушка 1 намотана на отдельном каркасе, чтобы можно было ее перемещать по стержню, регулируя уровень обратной связи.

После проверки частоты настройки колебательного контура C1L3, что составляет около 1,48 МГц, можно настроить на эту частоту генератор V4. Но для выяснения настройки колебательного контура хотелось бы знать параметры катушек.

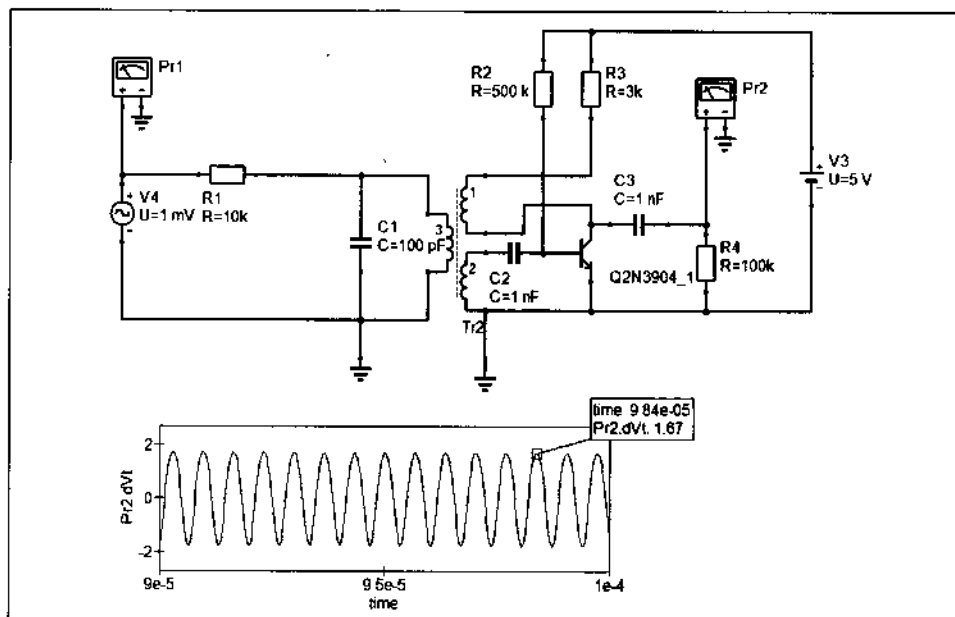


Рис. 25.29. Схема входного каскада регенеративного радиоприемника

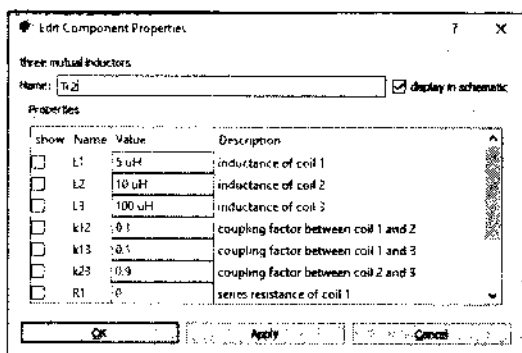


Рис. 25.30. Параметры катушек индуктивности

Вот параметры катушек индуктивности (рис. 25.30).

Приборы Pr1 и Pr2 — вольтметры, но в нашем случае это щупы осциллографа. Моделирование показывает, что на коллекторе транзистора амплитуда сигнала около 1,6 В. Если удалить из схемы катушку L1, напряжение на выходе существенно уменьшится. Можно это про-

верить. То есть, катушка L1 создает положительную обратную связь, без которой сигнал на выходе каскада усиления создает еще одну проблему — даже германиевому диоду будет сложно детектировать малый сигнал.

Вместе с тем, что проявлялось достаточно часто, положительная обратная связь в приемниках-конструкторах приводила к самовозбуждению.

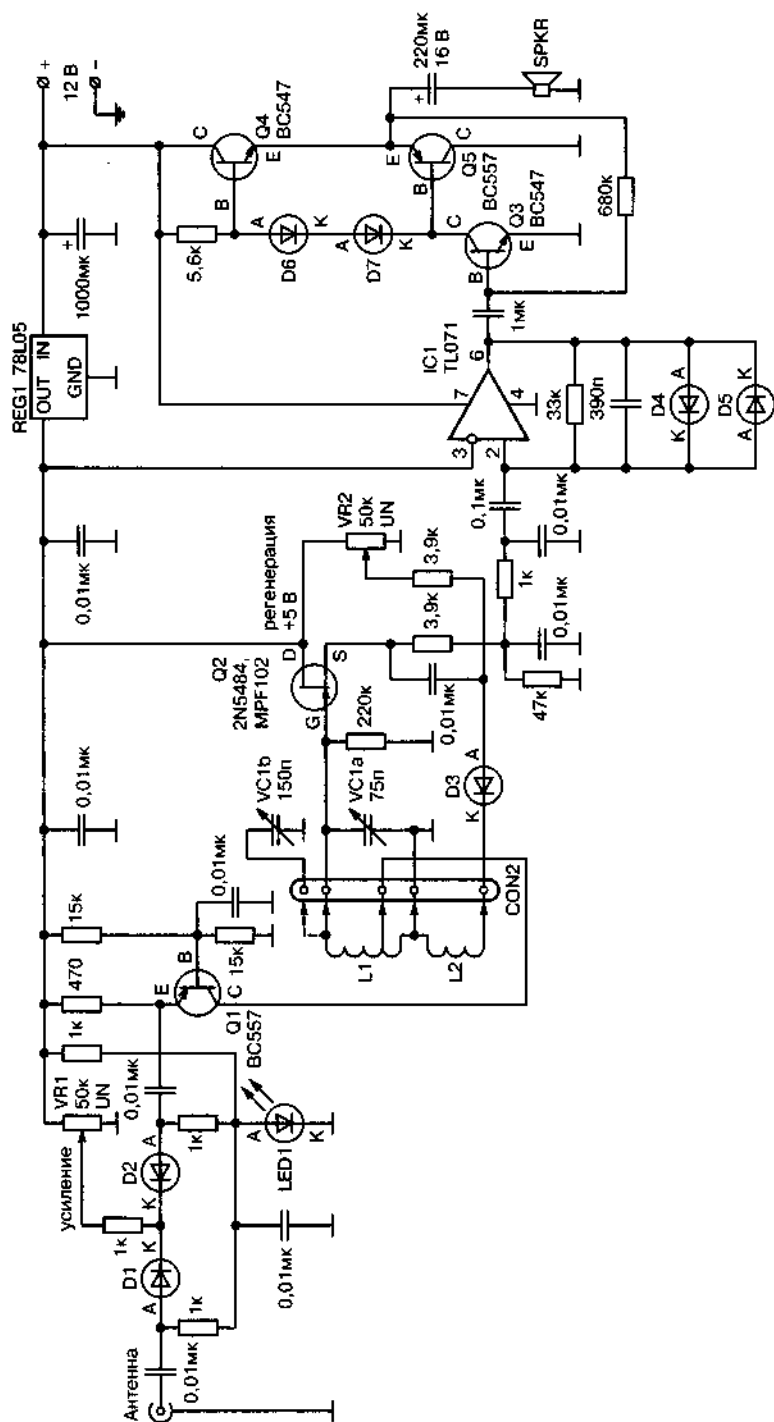


Рис. 25.31. Схема регенеративного радиоприемника



## СПРАВКА.

**Регенеративный радиоприемник (регенератор)** – радиоприемник с положительной обратной связью в одном из каскадов усиления радиочастоты. Обычно прямого усиления.

Википедия

Вот схема автора статьи (рис. 25.31). Видимо, отрицательные характеристики приемников прежних лет привели к существенному усложнению конструкции.

Особенностей схемы много. Это и использование диодов D1D2 в качестве аттенюатора, а транзистора Q1 в качестве входного буфера. Транзистор Q2 играет роль детектора, а обратная связь обеспечивается регулировкой с помощью переменного резистора VR2 динамического сопротивления диода D3.

Но лучше, конечно, прочитать оригинальную статью.

## FM-УКВ конвертер для радиоприемника на микросхеме K174ПС1

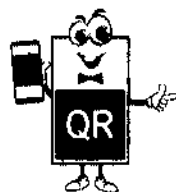


## СПРАВКА.

**Преобразователь частоты** – электрическая цепь, осуществляющая преобразование частоты и включающая гетеродин, смеситель и полосовой фильтр (в отдельных случаях полосовой фильтр может отсутствовать).

Преобразователем частоты, в состав которого входят три функциональные группы (смеситель, гетеродин, фильтр), иногда ошибочно называют **смеситель**.

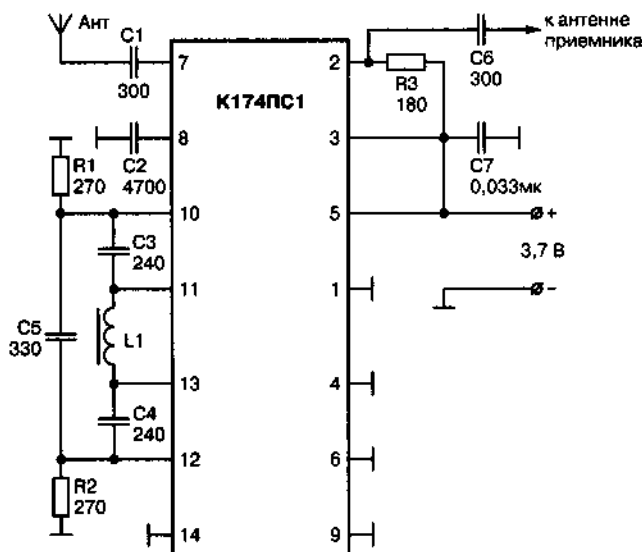
Википедия



Статья о конвертере из Интернета.  
Практическое применение – преобразование сигналов вещательных станций для приемника, у которого нет нужного входного диапазона.



Начнем, пожалуй, со схемы автора (рис. 25.32).



L1 – 7 витков 0,3 мм на ферритовом сердечнике диам. 2,5 мм

Рис. 25.32. Схема FM-УКВ конвертера для радиоприемника

Основа данной схемы — это микросхема К174ПС1. Микросхема представляет собой преобразователь, выполненный по схеме двойного балансного смесителя.



### СПРАВКА.

**Смеситель (смеситель частот)** – электрическая цепь, создающая спектр комбинационных частот при подаче на нее двух или более сигналов разной частоты.

Смесители являются частью преобразователей частоты в радиоприемных, радиопередающих и других устройствах, в которых осуществляется генерирование и формирование сигнала.

Смесители подразделяются на два основных типа:

- ♦ аддитивные, в которых суммируются напряжения сигнала и гетеродина и затем детектируется каким-либо нелинейным элементом;
- ♦ мультипликативные, в которых напряжения гетеродина и сигнала перемножаются.

В обоих случаях смесители могут быть активными, то есть представлять собой каскад усиления, работающий в нелинейном режиме и обеспечивающий помимо преоб-

разования частоты еще и усиление сигнала, и пассивными. В пассивных смесителях могут использоваться диоды или полевые транзисторы, работающие в режиме управляемых резисторов. Пассивные смесители обладают большим динамическим диапазоном, так как менее подвержены перегрузкам сильными сигналами. Простейшим смесителем может являться один нелинейный электрический элемент, например, диод. Более сложные, балансные схемы, содержат несколько диодов и симметрирующие трансформаторы.

Википедия

Микросхема К174ПС1 недорогая. И, если вас интересует преобразователь частоты, эксперименты с ним будут вам «по карману». На конденсаторах С3, С4, С5 и катушке L1 выполнен гетеродин на частоту примерно 25 МГц. На вход 7 микросхемы, от антенны поступает принимаемый сигнал и происходит смешивание входного и гетеродинного сигнала. Гетеродин работает на частоте около 25 МГц. Таким образом, если на вход приходит сигнал с частотой 100 МГц, то на выходе будет сигнал 75 МГц.

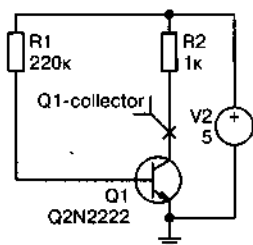
Двойной балансный смеситель микросхемы К174ПС1 построен на транзисторах. Его параметры вы можете найти в справочной документации на микросхему.

# О НЕКОТОРЫХ БЕСПЛАТНЫХ ПРОГРАММАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Благословенное время, когда в учебных заведениях можно было использовать любое программное обеспечение, кануло в лету. Сегодня перед многими университетами, ВУЗами, да и не только перед ними, возникает вопрос: платить, но где взять деньги, или не платить, и тогда объяснять все «на пальцах».*

*Зарубежные учебные заведения давно пытаются решить эту проблему двумя путями: законодательно принудить разработчиков программ снижать цены на продукты для студентов, это первое решение проблемы, и использовать бесплатное программное обеспечение по примеру госучреждений, которые активно переходят на использование бесплатной операционной системы Linux.*

*Многие бесплатные программы моделирования изначально разрабатывались в среде Linux. Позже появилась возможность делать приложения для разных платформ. Сегодня далеко не редкость, когда,*





загружая программу с сайта разработчика, вы можете выбрать вариант программы для Windows, Linux или MAC OS.

Когда-то все были уверены, что Linux – это операционная система, пригодная для очень опытных пользователей. Сегодня обычный пользователь едва ли различит разные операционные системы. Конечно, привычка работать в Windows XP у ряда пользователей вызывает отторжение Windows 10, но это только привычка, не более того. Так и привычка радиолюбителей использовать платные программы моделирования, поскольку в них есть модели реальных микросхем, это тоже не более чем привычка.

О некоторых программах моделирования, за которые не надо платить, но можно с успехом их использовать, пойдет речь в этой части рассказа.

Сегодня многие школы переходят к использованию операционной системы Linux. Давным-давно, когда я сам знакомился с этой прекрасной операционной системой, я встретил программу моделирования, которая привлекла мое внимание не столько тем, что можно было экспериментировать за компьютером с разными электронными компонентами. Нет. Привлекла мое внимание та часть программы, где можно было использовать графический язык программирования для работы с микроконтроллером.

Мне жаль, что создатель программы оставил ее. Но нашлись энтузиасты, которые продолжили ее восстановление для работы с последними дистрибутивами Linux.

## **Глава 26. Расчеты вынужденные или полезные**

## **Глава 27. Вычисления или моделирование?**

## **Глава 28. Программа моделирования SIMetrix**

## **Глава 29. Программа моделирования SimOne**

# РАСЧЕТЫ ВЫНУЖДЕННЫЕ ИЛИ ПОЛЕЗНЫЕ

**Зачем считать,  
если можно и так**

Можно ли винить новобранца в том, что он сжег мультиметр? Мультиметр — это инструмент, которым нужно уметь пользоваться. Не лучше ли научить этому новичка, а не корить его за произошедшее.

Бывалые радиолюбители не всегда доверяют программам моделирования электрических цепей. Конечно, я помню времена, когда вычисления проводились на бумаге, а из инструментов доступны были только арифмометр (не всегда) и логарифмическая линейка. Так было, но калькуляторы появились столь давно, что не использовать их — это, скорее, прихоть, чем даже привычка. И я очень сомневаюсь, что радиолюбители много занимались расчетами. Чаше они повторяли готовые схемы, пытались переделать их под свои нужды, что заканчивалось сгоревшими транзисторами и микросхемами, которые отправлялись в мусорное ведро.

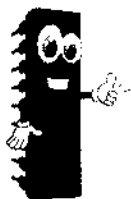
Вместе с тем, сегодня молодые люди, которых интересует электроника, больше привыкли работать с компьютером, чем с калькулятором или паяльником. Найти в Интернете какую-то схему для них привычное занятие, не нужно даже книг или журналов. И не всегда эти схемы сопровождаются подробным описанием работы устройства, описанием его налаживания. Попытка спаять такое устройство легко может окончиться неудачей, даже в том случае, а это бывает не всегда, если схема работающая.

Далеко не всегда сегодняшняя молодежь склонна к усидчивости на уроках физики, когда им рассказывают об основах электричества. Поэтому повторять простейшие схемы им кажется «не настолько круто», чтобы этим можно было похвастаться перед приятелями. Вдобавок любую схему нужно паять, а это дополнительное скучное время, которое жалко тратить на «детские» устройства.

Я согласен с теми бывалыми, что настаивают на повторении готовых схем, в плане получения опыта работы с реальными компонентами

и приборами. В этом они полностью правы. Дело не только в том, что нужно знать, какой режим работы мультиметра следует выбрать в том или ином случае. Дело в том, что нужно вырабатывать определенные привычки. Однажды, после измерения тока, я собрался измерять напряжение в силовом шкафу, но щуп мультиметра выскользнул из руки и попал на шину. После короткого замыкания и выхода мультиметра из строя я довольно долго вырабатывал привычку сразу после измерения мультиметром переключать его в режим измерения напряжения на максимальном пределе.

Далеко не все начинающие радиолюбители любят паять. Скорее, они считают это вынужденным процессом. Они спешат поскорее завершить сборку, чтобы включить питание и увидеть результат работы вновь созданное устройство. При пайке легко неверно запаять компоненты, соединительные проводники, или сделать кляксу припоем.



### ВНИМАНИЕ.

*Есть обязательное правило – перед включением макетной платы или готового устройства необходимо проверить монтаж. Очень нелишним будет измерить сопротивление схемы со стороны подключения питающего напряжения.*

*Рассчитав ток, потребляемый схемой при этом сопротивлении, можно ориентироваться на результат подключения питания. Если ток получается слишком большим, то нужно искать, где ошибка.*

Я давно не занимаюсь расчетами. При необходимости пользуюсь калькулятором, который есть в операционной системе. Современный калькулятор удобен и для расчетов, и для перевода обычных чисел в двоичное или шестнадцатеричное представление. Рассчитать ток, если известно напряжение и сопротивление, можно и без калькулятора.

Но, положим, вы решили изменить рабочую частоту колебательного контура. Едва ли многие могут обойтись без калькулятора. Теперь представим, что вы не нашли подходящие компоненты. Хотелось бы пересчитать контур, используя найденную катушку индуктивности.

А если подходящую катушку индуктивности найти не удалось, если нужно намотать ее? Расчет усложняется, расчет, возможно, придется повторить несколько раз. Посмотрим на это глазами начинающего радиолюбителя, которого обескураживает необходимость позаботиться о монтажной схеме, о пайке, а тут еще и расчеты! Когда же можно включить?

## Расчеты, к которым временами приходится прибегать

Начнем с расчетов, к которым временами приходится прибегать, хотя очень хочется поскорее включить питание, посмотреть на результат работы.

Все знают (или многие), что формула результирующего сопротивления при параллельном включении двух резисторов проста:

$$R_{\text{рез}} = R1 \times R2 / R1 + R2.$$

Когда возникает необходимость в расчетах? Положим, у вас есть генератор, амплитуда выходного напряжения у которого 5 или 10 вольт. Я с удовольствием пользуюсь встроенным в осциллограф-приставку функциональным генератором. Но минимальное напряжение на выходе, которое можно получить настройкой, порядка 80 мВ (рис. 26.1).

А для проверки работы схемы нужно синусоидальное (действующее) напряжение 1 мВ. Самый ясный и простой путь — делитель напряжения. Можно взять два подходящих резистора, чтобы напряжение на выходе уменьшить в 100 раз. Но причем здесь расчет? Берем резистор с сопротивлением 100 кОм, берем второй 1 кОм, получаем приближенное деление на 100.

Ключевое слово «приближенное». Хорошо, если настройкой получится задать напряжение в 1 мВ, а если нет? Если выходное действующее напряжение точно равно 10 В, а ползунок управления напряжением проскакивает либо в одну сторону, либо в другую.

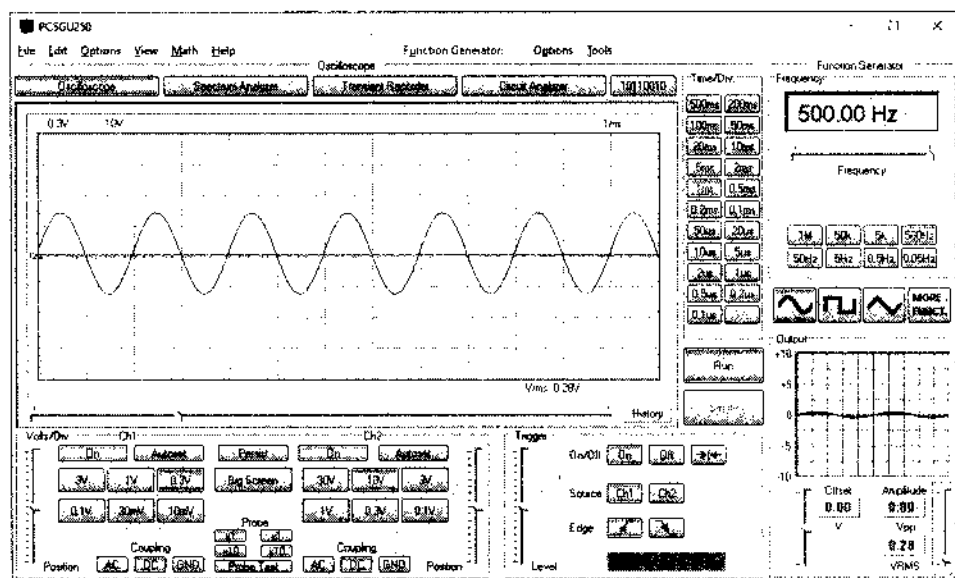


Рис. 26.1. Напряжение на выходе функционального генератора



Электронные таблицы (ЭТ) представляют собой удобный инструмент для автоматизации вычислений. Многие расчеты, в частности в области бухгалтерского учета, выполняются в табличной форме: балансы, расчетные ведомости, сметы расходов и т. п. Кроме того, решение численными методами целого ряда математических задач удобно выполнять именно в табличной форме. Использование математических формул в электронных таблицах позволяет представить взаимосвязь между различными параметрами некоторой реальной системы. Решения многих вычислительных задач, которые раньше можно было осуществить только с помощью программирования, стало возможным реализовать через математическое моделирование в электронной таблице.

Википедия

Сегодня электронные таблицы есть в платном офисном пакете от Microsoft и в бесплатном LibreOffice. Молодежи, привычной к компьютеру, не составит труда один раз записать расчет, чтобы не пользоваться даже калькулятором (рис. 26.3).

Перебирая резисторы, которые есть в наличии, можно подобрать подходящие. Меняя исходные значения в таблице, вы сразу получаете результат.

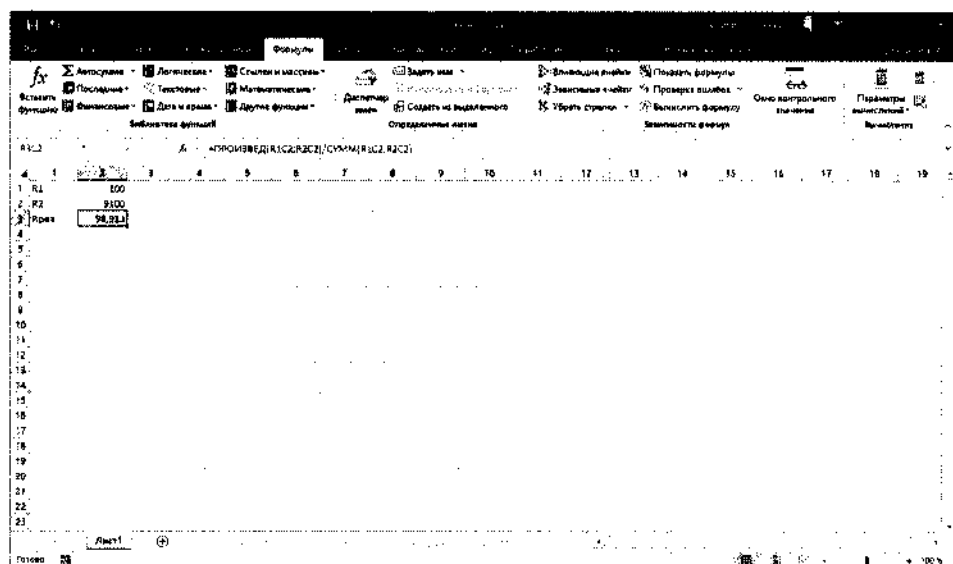


Рис. 26.3. Расчет параллельного включения резисторов в электронной таблице

Если вам часто приходится сталкиваться с подобной ситуацией, то можно сохранить таблицу, дав ей подходящее имя.

**Радиолобитель:** Ясно, полезная программа.

## Специализированная программа SMath Studio

Еще удобнее это сделать в специализированной бесплатной программе SMath Studio, автор которой Андрей Ивашов (рис. 26.4).



Скачать эту бесплатную программу можно на данном сайте.

О возможностях программы можно прочитать в Википедии. Есть форум для общения.



Работа с этой программой похожа на работу с электронной таблицей, но намного удобнее. Вы вводите, скажем, значок индуктивности,

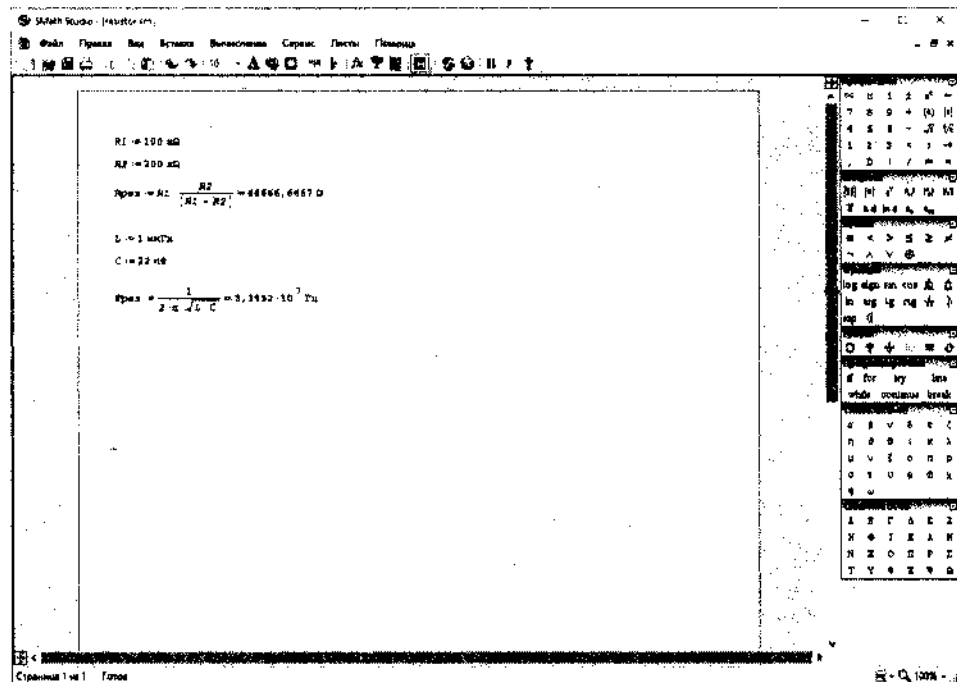


Рис. 26.4. Расчеты параллельного включения двух резисторов и частоты резонанса





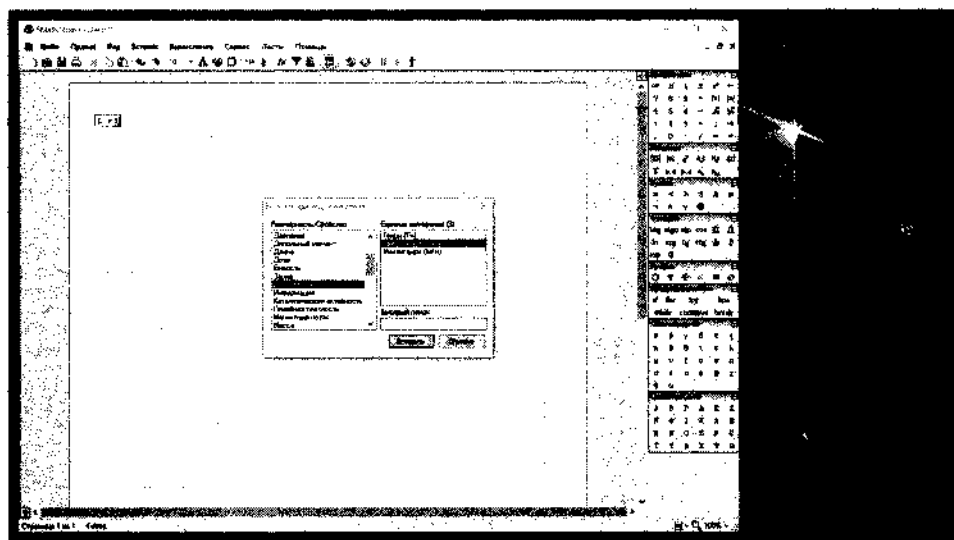


Рис. 26.6. Добавление единиц измерения

ввода расчетной формулы нажать знак равенства на клавиатуре, то получим ответ. Осталось сохранить файл в отдельной папке, где будут храниться все расчеты.

Программа позволяет выполнять очень сложные вычисления, а любитель, потратив один-два часа, получит все необходимое для своих расчетов на долгие годы. Благо расчетные формулы легко найти в технической литературе или Интернете.

# ВЫЧИСЛЕНИЯ ИЛИ МОДЕЛИРОВАНИЕ?

## Подбор резистора моделированием в программе QucsStudio

Программы моделирования часто позволяют заменить расчеты моделированием.

Вернемся к подбору резисторов. Используем возможности программы QucsStudio (рис. 27.1).

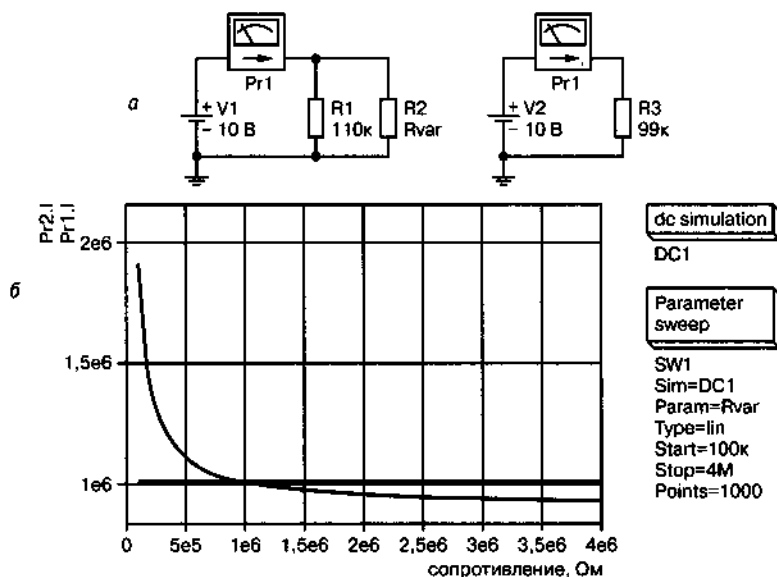
Определив ток через резистор 99 кОм, мы используем моделирование развертки параметра. В качестве параметра примем сопротивление дополнительного резистора Rvar. На графике точка пересечения кривых, отображающих ток через амперметры Pr1 и Pr2, означает, что результирующее сопротивление на рис. 27.1, а имеет значение 99 кОм.



### ПРИМЕЧАНИЕ:

*Амперметр Pr2 показывает ток через резистор R3 с сопротивлением 99 кОм. График изменения этого тока, а он не меняется, изображен прямой линией.*

Амперметр Pr1 измеряет ток, протекающий через параллельно включенные резисторы R1 и испытательный резистор R2, сопротивление которого мы должны определить. График изменения тока зависит от значения сопротивления R2.



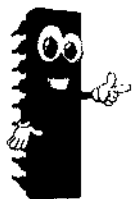
**Рис. 27.1.** Решение проблемы подбора резистора с помощью QucsStudio:  
 а – моделирование вариации резистора; б – заданное значение резистора.

Точка пересечения этих графиков отвечает току через резистор с сопротивлением 99 кОм. Значение сопротивления R2 можно определить либо по шкале оси X, либо с помощью маркера.

## Подбор резистора в программе Multisim

Аналогичный опыт можно повторить в программе Multisim 14 (рис. 27.2).

За время написания разных рассказов о программах моделирования у меня скопилось много разных примеров к программам, которые уже перестали работать по причине того, что срок пробной работы с ними вышел. К некоторым программам был доступ благодаря моим знакомым.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

О некоторых программах я не пишу по причине того, что ими занимаются другие, например, Амелины пишут о программе MicroCAP, о программе LTSpice пишет мой знакомый Валентин Володин. Далеко не все программы доступны любителям, поэтому я стараюсь рассказывать о бесплатных программах.

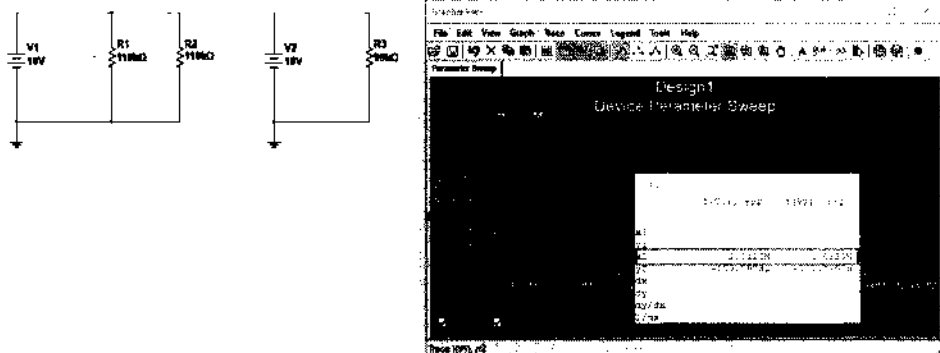


Рис. 27.2. Подбор резистора в программе Multisim

Любители часто предпочитают программы, которые похожи на «настоящие схемы» с настоящими приборами. Это их выбор. Не следует только забывать, что программы моделирования работают на компьютере, а все, что видно на экране, — это результат расчетов. По сути программы моделирования — это программы расчетов. Приведем такой пример: простой каскад усиления на транзисторе, как его воплотить в жизнь?

## Моделирование усилительного каскада в программе SimulIDE

Типовая схема выглядит так (рис. 27.3). Не все программы позволяют провести развертку параметра, как мы сделали это выше, но и не так трудно подобрать сопротивление в цепи базы, чтобы можно было усиливать симметричные сигналы (рис. 27.4).

## Подбор компонентов колебательного контура в программе SimOne

Аналогичную процедуру можно проделать и для такой задачи: подобрать компоненты параллельного колебательного контура. У вас есть готовая схема, но нет нужной индуктивности. В оригинале колебательный контур имеет индуктивность в 10 мкГн и конденсатор 25 пФ (рис. 27.5).

А у вас есть индуктивность 15 мкГн, и есть возможность подобрать конденсатор. Изменим значение элементов контура, проверим настройку контура (рис. 27.6).



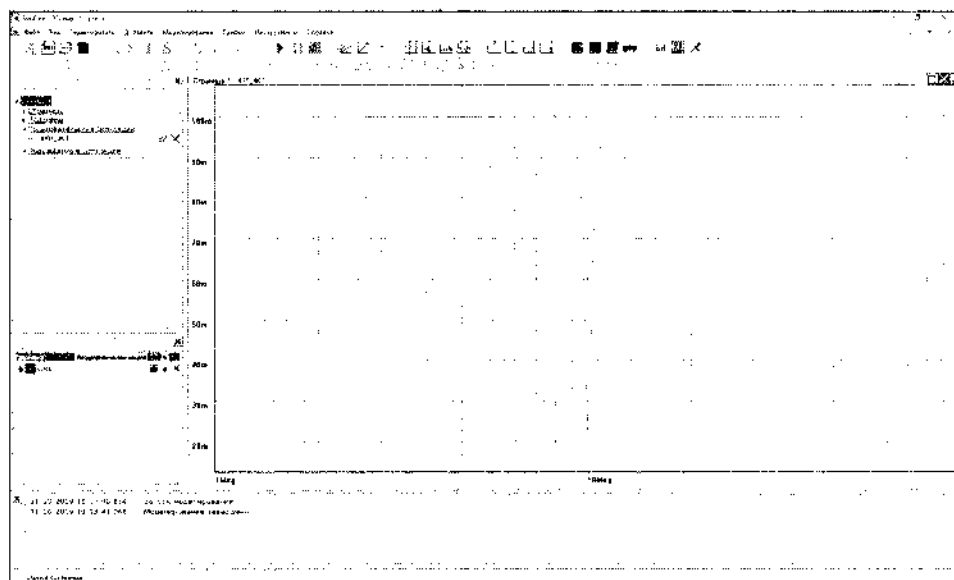


Рис. 27.5. Частотный анализ в программе SimOne

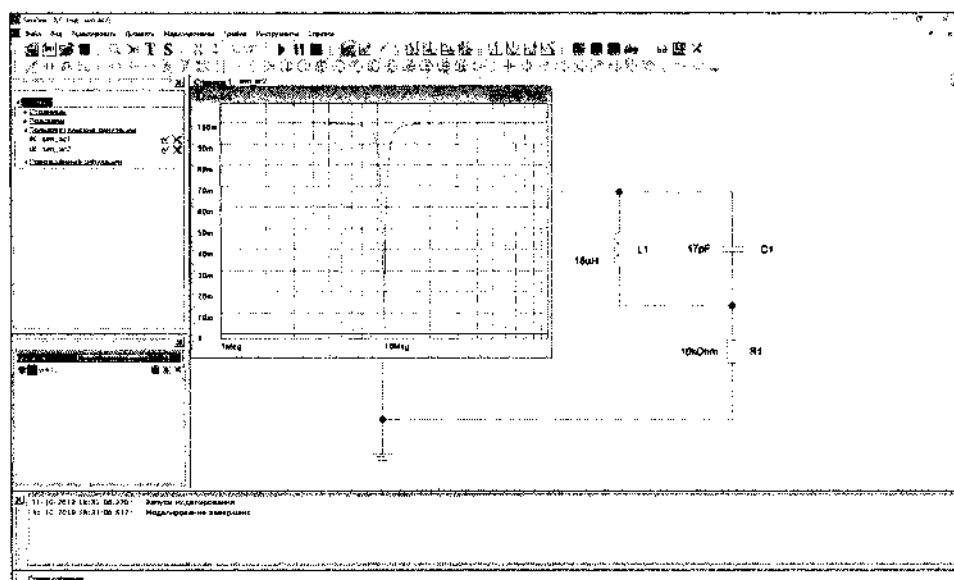
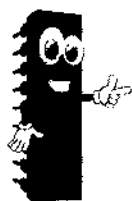


Рис. 27.6. Проверка результата подбора элементов контура

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

*Частотный анализ в программах моделирования подразумевает построение амплитудно-частотной характеристики электрической цепи.*

Для колебательного контура амплитудно-частотная характеристика показывает либо изменение напряжения на контуре, либо изменение тока через контур с изменением частоты. На рис. 27.5 показано изменение тока в контуре. Особая частота, где ток минимален, 10 МГц. На частоте резонанса сопротивление контура максимально, а ток через него минимален.

Подборка... Но это не точно. Другое дело расчет! Так ли это? Посмотрим.

# ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMETRIX

## А в схеме транзистор KT315

Обычно радиолюбители предпочитают использовать программы, в которых есть точно такие компоненты, которые они могут найти в магазине или в своих запасах. Если в программе нет нужного транзистора, то можно ли доверять такой программе?

Если в схеме, которую вы нашли на просторах Интернета, присутствует транзистор KT315, а в программе нет такого транзистора, то можно поступить двояко:

- ♦ найти подходящий аналог;
- ♦ добавить модель нужного транзистора.

Рассмотрим, как можно добавить модель транзистора KT315 в программу SIMetrix. Spice-модель транзистора, конечно, нужно найти на просторах Интернета. Она будет выглядеть так:

```
.MODEL KT315 NPN (IS=10F BF=584.517 VAF=100 IKF=29.2714M
ISE=131.803P
+ NE=2.08337 BR=1.95214 IKR=9.99996M ISC=100.316P RE=1
RC=5.48635 CJE=27.3893P
+ VJE=700.001M MJE=500.287M CJC=27.3893P VJC=700.001M
MJC=500.287M TF=450.287P
+ XTF=499.984M VTF=10 ITF=10.2268M TR=153.383P)
```

Ее можно скопировать в блокнот Windows, чтобы сохранить в формате ANSI с расширением .cir.

Запустим программу, в левой части окна программы есть несколько вкладок. Выбираем *Command Shell*. Теперь просто перетаскиваем файл модели в это окно. Подтверждаем, что мы намерены установить модель. Дожидаемся завершения процесса (рис. 28.1).



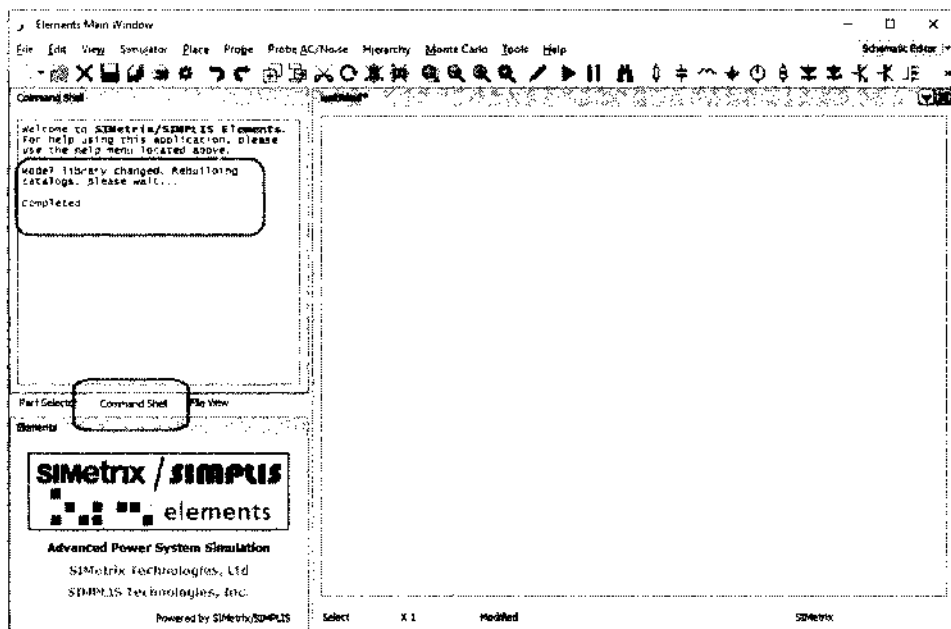
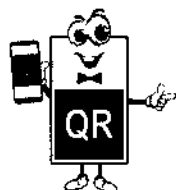


Рис. 28.1. Перетаскивание модели KT315 с рабочего стола в SIMetrix



Поискать программу можно на сайте производителя. Там же можно ознакомиться с условиями использования программы.



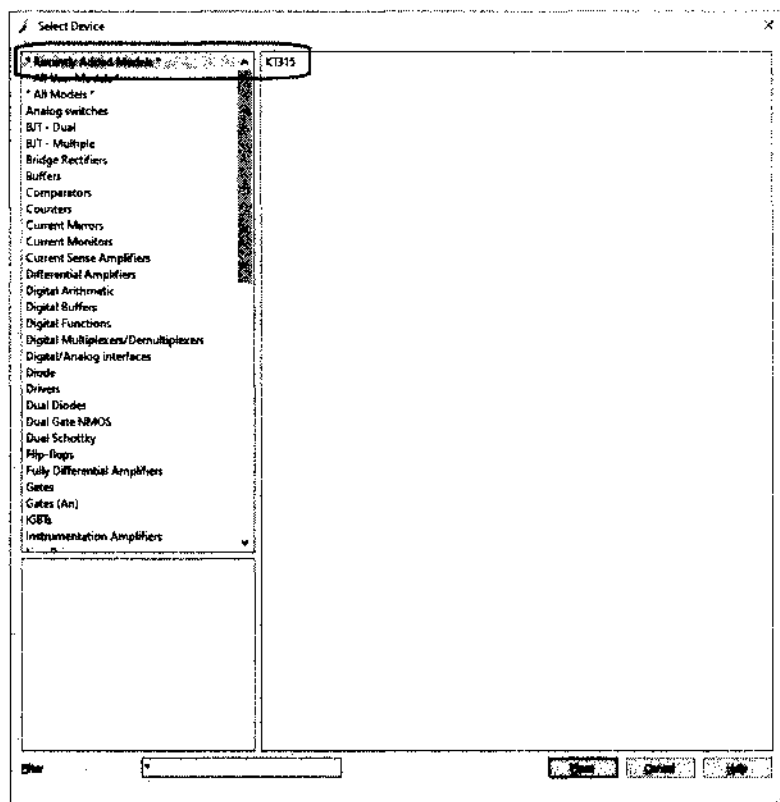
Теперь в основном меню обращаемся к пункту **Place** → **From Model library**. В окне диалога при выборе **\*Recently Added Models\*** в правом окне появляется наш транзистор (рис. 28.2).

Выделим его щелчком мышки, в нижнем окне слева появится изображение транзистора. Осталось нажать кнопку **Place** и вставить транзистор в схему.



### СПРАВКА.

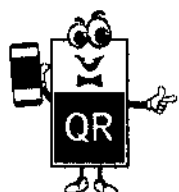
Вы можете использовать программу EE-Sim 6.20, которая имеет пересечения с программой SIMetrix/simplis. Версия более ранняя, но это не умаляет ее достоинств. В первую очередь, это касается легкости, с которой можно добавить spice-модели нужных вам компонентов. Конечно, при условии, что подходящие модели у вас есть.



**Рис. 28.2. Появление транзистора в диалоге выбора устройства**

КТ315  
или 2N2222А

Будет ли при моделировании (и в реальной схеме) работа этого транзистора отличаться от транзистора, например, 2N2222A, который есть почти во всех программах моделирования. Проведем анализ АЧХ транзистора КТ315 (рис. 28.3).



Найти программу EE-Sim можно на сайте производителя. Похоже, нужно будет зарегистрироваться на сайте. Или попытаться найти программу в другом месте.



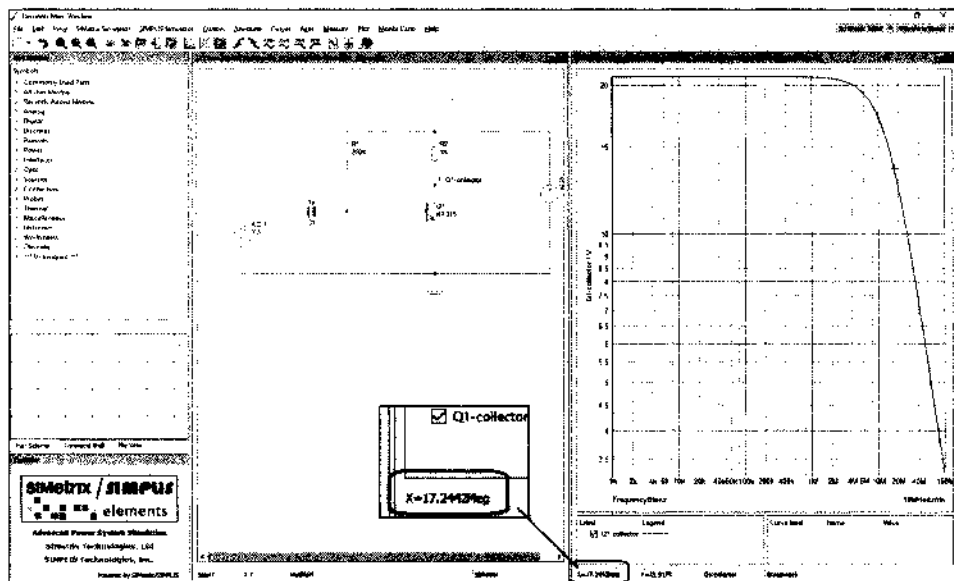


Рис. 28.3. Амплитудно-частотная характеристика транзистора KT315 в усилителе с общим эмиттером

Верхняя граничная частота в схеме с общим эмиттером около 17 МГц. Повторим этот анализ для транзистора 2N2222A (рис. 28.4).

**Радиолюбитель:** И разница велика?

Разница не столь значительна, чтобы оба транзистора не могли успешно работать во многих схемах без существенной переделки схемы. Конечно, при условии применения транзистора не в режиме с максимально допустимыми параметрами, где они могут сильно различаться.

Но, справедливости ради, для каких-то схем важно применять либо рекомендованные модели транзисторов, либо их полные аналоги.

В расчетах каскада усиления на биполярном транзисторе используют значение напряжения база-эмиттер, которое для кремниевых транзисторов принимают равным 0,7 вольт. В расчетах выбирают:

- либо ток коллектора и напряжение питания;
- либо сопротивление в цепи коллектора (для схемы с общим эмиттером).

По току коллектора определяют ток базы, который обусловлен таким параметром транзистора, как  $\beta_{ст}$ .

**Радиолюбитель:** Если этот параметр может отличаться существенно, то насколько оправдан выбор напряжения база-эмиттер?

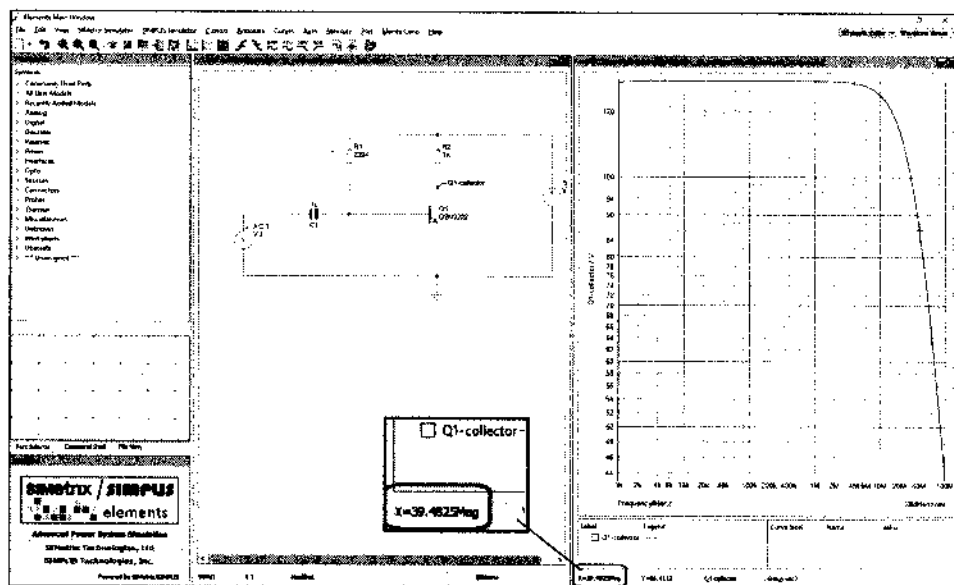


Рис. 28.4. Амплитудно-частотная характеристика с транзистором 2N2222A

## Вольтамперная характеристика база-эмиттер транзистора

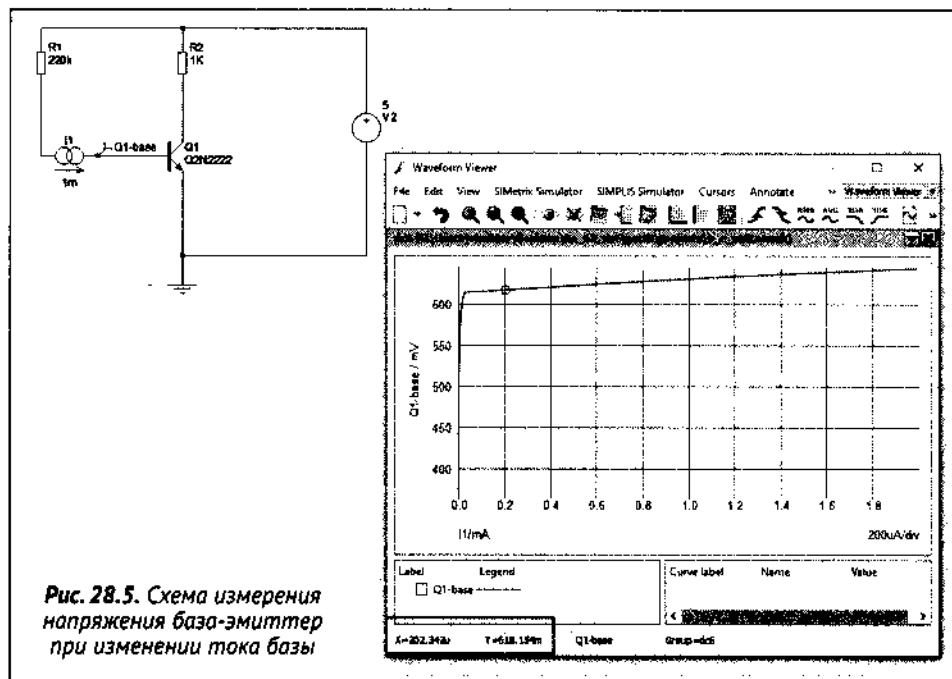
Посмотрим, насколько это напряжение зависит от тока коллектора. Но сначала определим, как меняется ток базы при изменении коэффициента усиления по току от 70 до 120. Видимо, ток базы изменяется в 1,7 раза. Теперь проведем развертку параметра (тока базы) в следующей схеме (рис. 28.5).

Вы можете убедиться, что при изменении тока базы более, чем в десять раз, напряжение база-эмиттер меняется от 600 до 618 мВ. Таким образом, взяв при расчетах напряжение база-эмиттер равным 0,6 вольт, мы не слишком ошибемся.

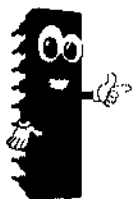
Теперь посмотрим, как осуществить моделирование, чтобы получить зависимость напряжения на базе от тока базы. Можно использовать ранее рассмотренную схему, удалив ненужные для измерений на постоянном токе компоненты.

Пока мы не ушли далеко от темы удаления: я столкнулся с раздражающим фактором, преодолеть который штатными средствами, я не знаю как. О чем идет речь.

Такие элементы как транзистор, резистор или источник напряжения удаляются легко. Достаточно их выделить с помощью мышки и нажать клавишу **Delete** на клавиатуре.



Но, если довести схему при удалении ненужных компонентов до вида, представленного на рис. 28.6, то дальше получается тупик. Поместить источник тока можно, но он, оказывается, закорочен соединением, которое было раньше, а выделение этих соединений не позволяет удалить их «легким нажатием» на клавишу **Delete**.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Многие программы позволяют добавить новый элемент в уже соединенную проводниками схему. Попытка повторить это оказалась неудачной. В исходную схему (рис. 28.6, а) добавлен источник тока. На рис. 28.6, б видно, что источник тока может быть замкнут предыдущим соединением. Удалить получается только источник тока.

Ничего лучше я не придумал, как «утащить» соединение, выделив его; теперь можно удалить часть соединения клавишей **Delete**; и осталось выделить второе соединение и мышкой «оттащить» в сторону, после чего оно удаляется без проблем (рис. 28.7). Наверное, следует внимательно почитать руководство, впрочем...

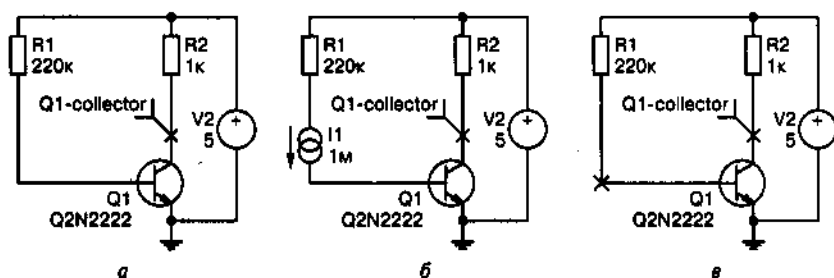
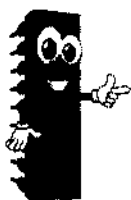


Рис. 28.6. Проблема с удалением:

а – исходная схема; б – добавлен источник тока; в – удаление компонента

Впрочем, вернемся к измерению напряжения на базе при изменении тока базы. Выбираем источник тока, используя основное меню (можно использовать инструментальную панель), из выпадающего подменю (рис. 28.8).

Для добавления компонентов к схеме можно использовать и основное меню программы, раздел *Place*, и использовать инструментальную панель. Иконки на инструментальной панели достаточно выразительно отображают, что за элемент схемы можно получить, нажав на кнопку.

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

Дополнительно при наведении курсора мышки на иконку появляется подсказка, какой элемент представлен этой кнопкой.

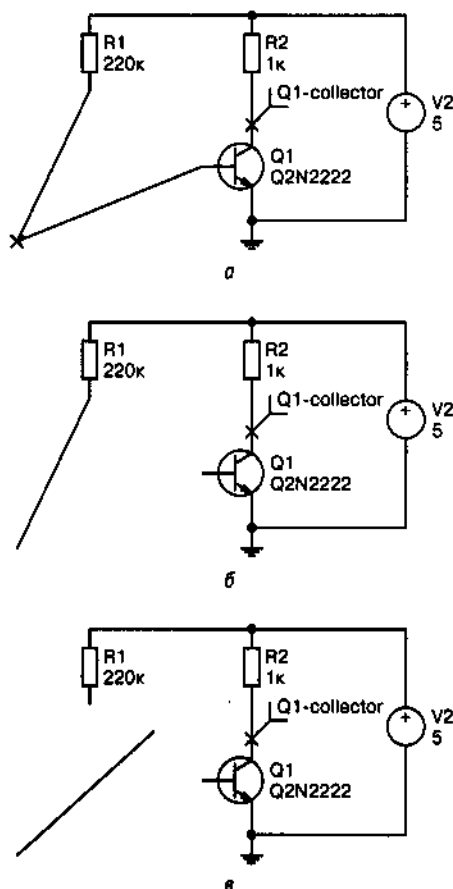


Рис. 28.7. Удаление ненужного соединения:

На инструментальной панели представлены наиболее часто употребляемые компоненты. Можно редактировать меню, но эти изме-

а – смещение соединения;  
б – удаление части соединения;  
в – удаление остатка соединения.

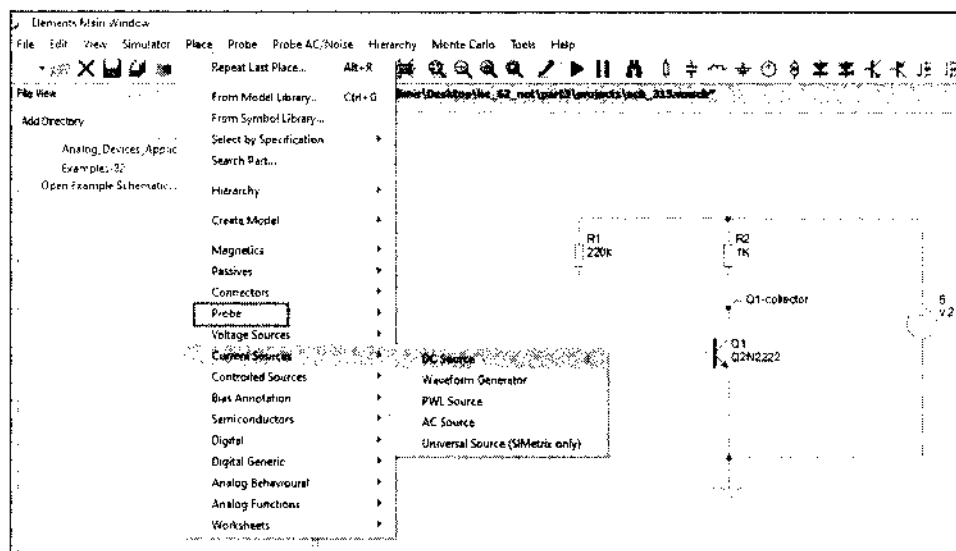


Рис. 28.8. Выбор источника тока для базы транзистора

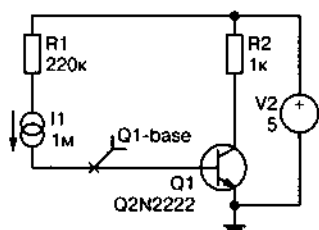


Рис. 28.9. Подготовка к проведению измерения

нения, возможно, связаны с какими-то соглашениями или дополнительными условиями использования программы.

Источник тока переносим к резистору в цепи базы и соединяем его с резистором и базой. Затем в разделе пробников (можно в этом подменю чуть выше) выбираем **пробник напряжения** (*Probe* → *Voltage Probe*), который поместим в цепь базы (рис. 28.9).



### ПРИМЕЧАНИЕ.

Проводить соединения несложно. Если подвести курсор мышки к точке соединения, то вид курсора изменится, превращаясь в иконку паяльника. Достаточно щелкнуть по точке соединения элемента, чтобы провести соединение к нужной второй точке, где щелкнуть еще раз. Но, если соединение не нужно продолжать, вам нужно дважды щелкнуть правой клавишей мышки или нажать клавишу *Esc* на клавиатуре.

После подготовки схемы к проведению анализа зависимости напряжение на базе от тока базы следует выбрать вид анализа и настроить его. Для этого обратимся к разделу основного меню *Simulator* → *Choose Analysis*, где выбираем закладку *DC* (рис. 28.10).

Отмечаем *DC Sweep*, в окошко устройства вписываем «имя источника тока», и заполняем: начальный ток, который выберем равным нулю, конечный ток в 2 мА и количество точек увеличим до 500. Теперь можно нажать кнопку **Run** диалога, чтобы получить результат, показанный на рис. 28.5.

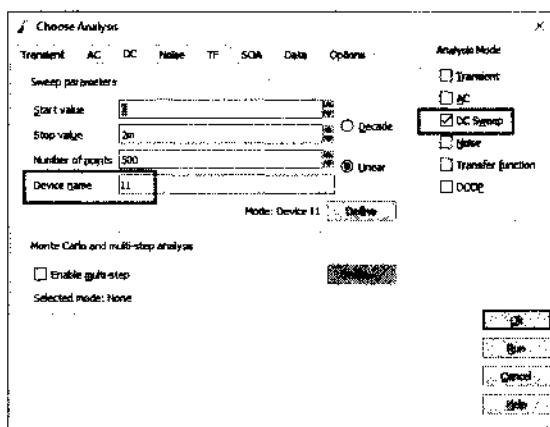
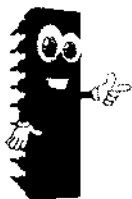


Рис. 28.10. Настройка анализа с нужными параметрами



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Кнопка с иконкой стрелки вниз в верхней части графического окна открывает выпадающее меню, где можно «освободить», *Undock*, это окно, чтобы перемещать его по экрану монитора и менять размер окна графики.

## Амплитудно-частотная характеристика

Есть некоторые особенности и с получением амплитудно-частотных характеристик. **Во-первых**, в качестве источника следует выбрать источник напряжения для АС-анализа (рис. 28.11).

Диалоговое окно анализа для его настройки имеет несколько закладок, относящихся к разным **видам анализа**:

- ♦ анализ переходных процессов;
- ♦ анализ параметров на постоянном токе и т. д.

После выбора вида анализа и задания параметров анализа, например, диапазона частот, обязательно нужно отметить выбранный анализ.

При настройке частотного анализа (*Simulator* → *Choose Analysis*) следует выбрать закладку **AC**, отметить этот режим анализа и задать пределы измерения: начальную и конечную частоту. При этом килогерцы довольствуются буквой «k», мегагерцы требуют ввода «Meg» (рис. 28.12).

При необходимости можно изменить количество точек на декаду. В некоторых случаях следует отказаться от логарифмического представления оси X, выбрав **Linear**.



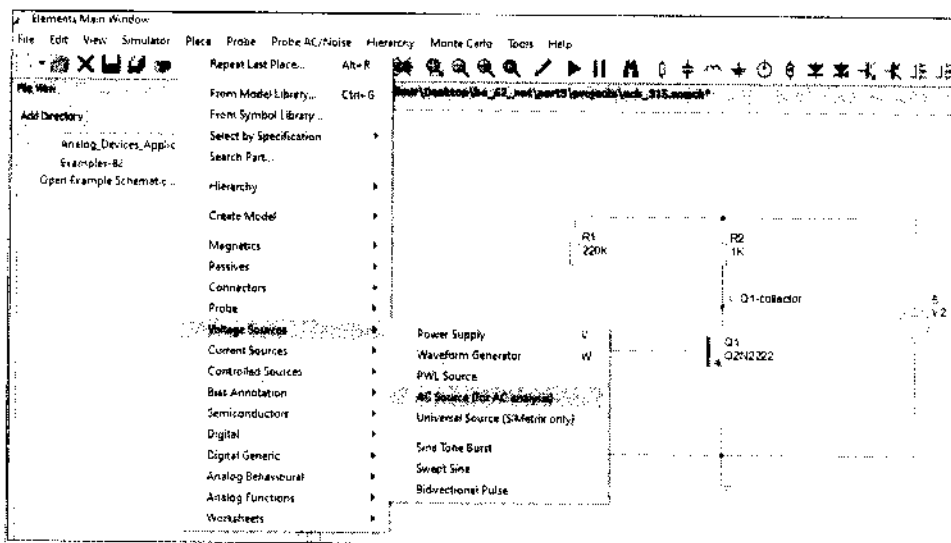


Рис. 28.11. Выбор источника напряжения для получения АЧХ

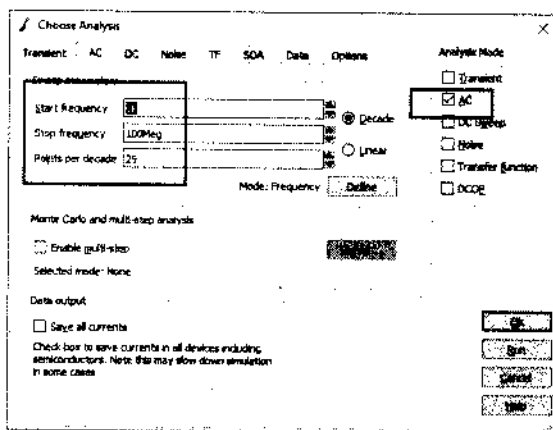


Рис. 28.12. Настройка анализа АЧХ

При любых настройках оборудования, а анализ процесса вполне можно отнести к оборудованию, появляются вопросы, а что изменится, если применить выбор, например, *Enable multi-step* (разрешить множественные шаги).

Можно испробовать все варианты настроек, чтобы понять, какую пользу они могут принести. Но можно обратиться к руководству, если компьютер подключен к Интернету. После появления в Интернет-браузере руководства в окно поиска достаточно ввести *Enable multi-step*, чтобы получить все разделы, где есть упоминание об этой воз-

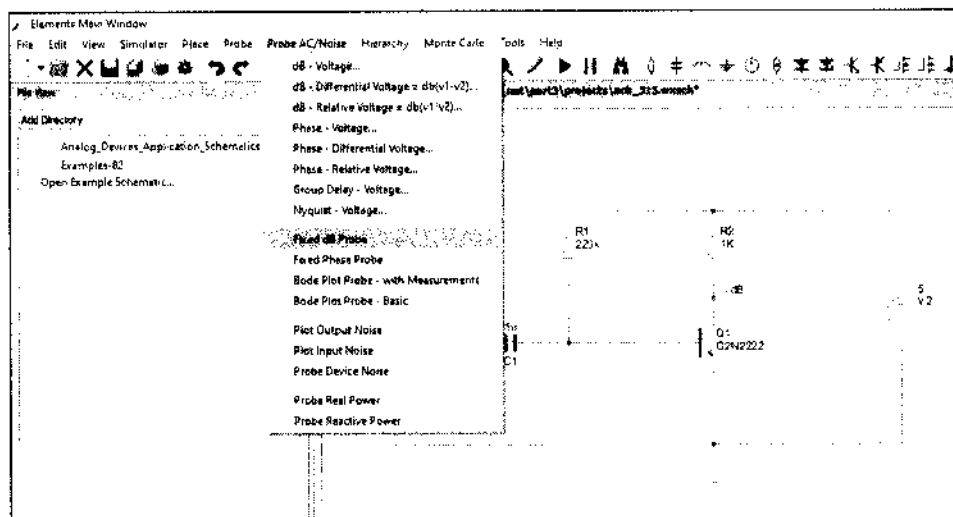


Рис. 28.13. Выбор пробника для получения АЧХ в децибелах

возможности программы: «Режимы анализа Transient, AC, DC, Noise и TransferFunction могут задаваться с автоматическим повторением по изменению некоторых параметров схемы. Многошаговый анализ определяется с использованием тех же 6 режимов развертки, что используются для отдельных анализов развертки в дополнение к режиму моментального снимка. Подробные сведения о моментальных снимках см. в разделе о моментальных снимках».

И еще, ранее мы выбрали пробник напряжения, сейчас выберем другой (рис. 28.13).

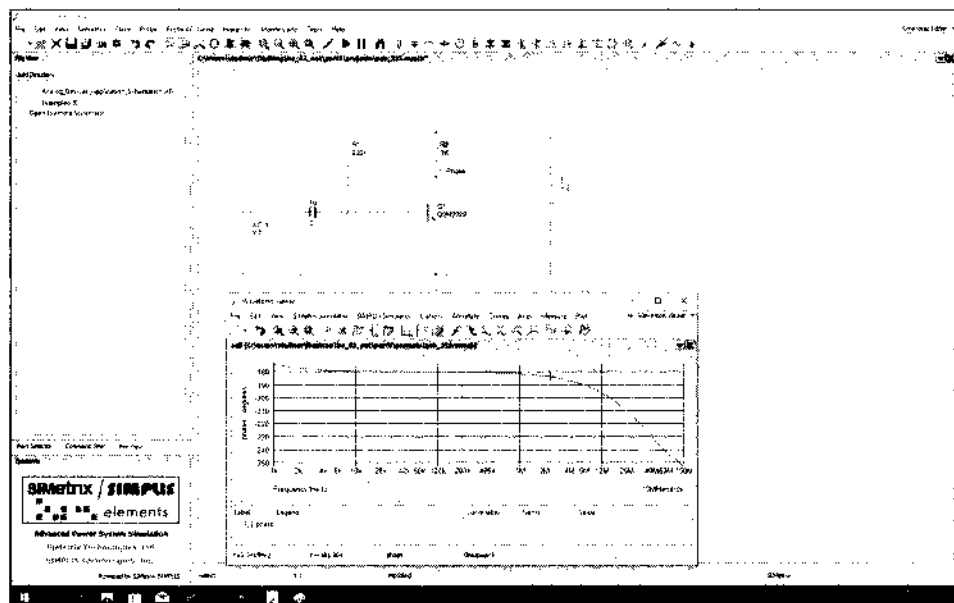
Кроме руководства ознакомиться с использованием программы можно на форумах. Для поиска форума, где обсуждается использование программы, в поисковик следует вводить поисковую строку SIMetrix/simplus. Иначе «интеллектуальный» браузер будет заводить вас на другой сайт.



Например, вы можете прочитать о программе на форуме по электронике. Есть и FAQ, и учебное пособие в разделе помощи (Help) программы.

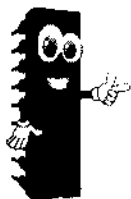


Использовать такой вид АЧХ удобнее для определения граничных частот. Граничные частоты определяются по спаду частотной характеристики на 3 дБ.



**Рис. 28.14.** Фазово-частотная характеристика каскада усиления на транзисторе

Если выбрать пробник для получения фазово-частотной характеристики, то в графическом окне появится эта зависимость фазы напряжения от частоты (рис. 28.14). Можно добавить и оба пробника, получив обе диаграммы в одном окне.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Диаграммы, отображающие результаты анализа, выводятся в отдельном окне. Окно можно «отцепить, undock» от основного окна. Его можно увеличить на весь экран, что удобно при тщательном рассмотрении графиков. Это окно имеет свое основное меню, частично связанное с основной программой, имеет инструментальную панель.

Такая организация графического обозревателя результатов анализа существенно расширяет возможности по работе с графиками.

Щелкнув правой клавишей мышки по графическому окну, можно найти много полезного в выпадающем меню. В частности, что очень полезно, можно включить маркеры, которые позволяют точнее определить параметры графика (рис. 28.15).

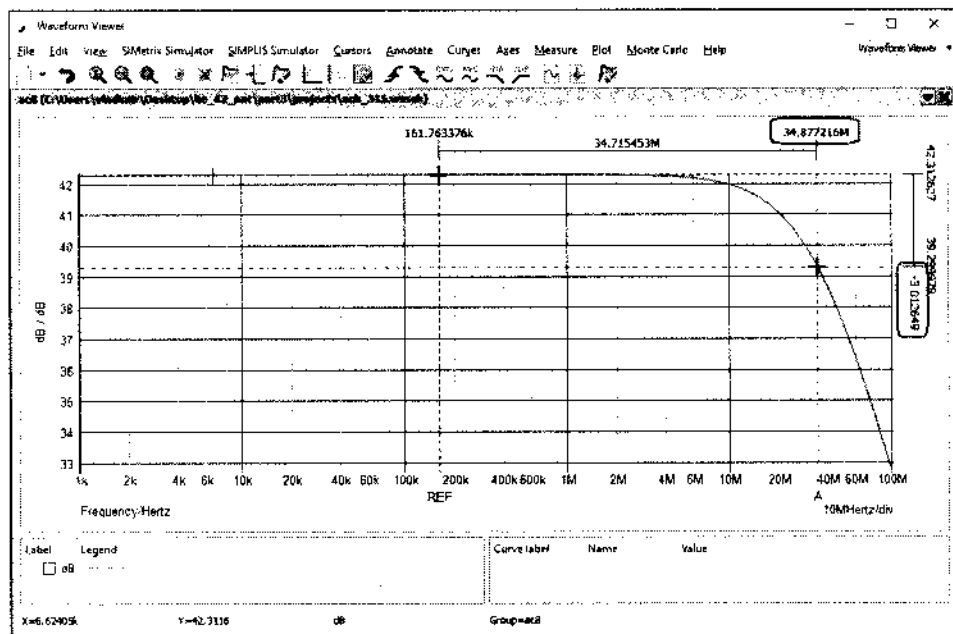


Рис. 28.15. Использование маркеров на графике

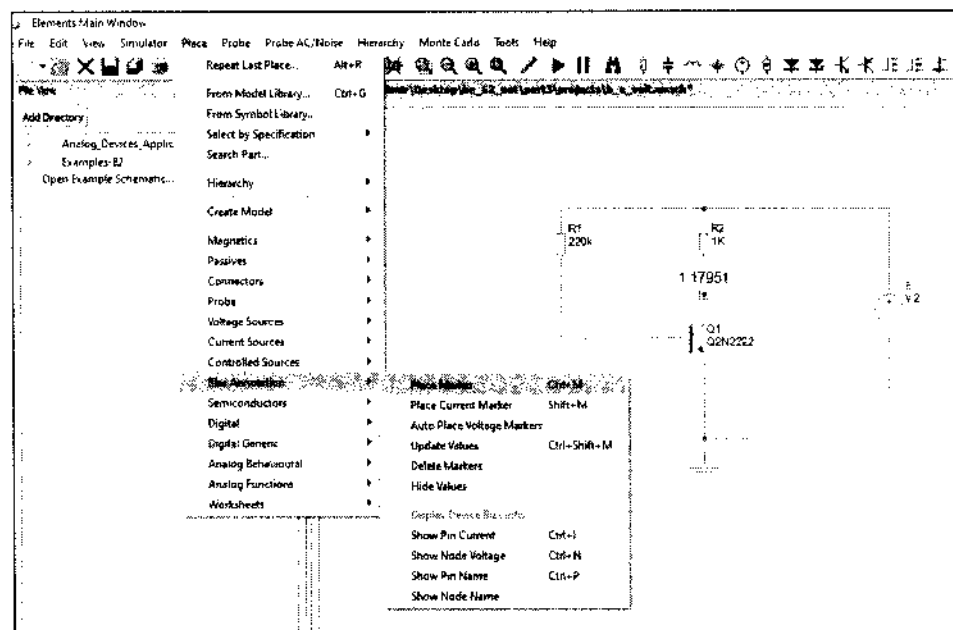


Рис. 28.16. Маркер для определения рабочей точки транзистора

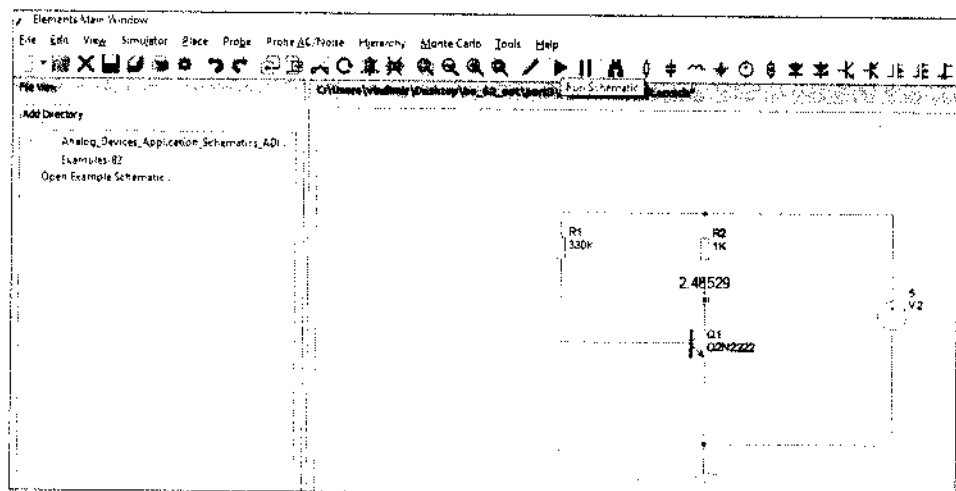


Рис. 28.17. Изменение рабочей точки после изменения в схеме

Вернемся к схеме. Есть не вполне очевидное, но что полезно знать, когда мы начинаем работу с усилителем. То есть...

**Радиоловитель:** Как определить рабочую точку?

Для этого следует выбрать из основного меню маркер рабочей точки (рис. 28.16). Этот маркер можно перенести в цепь коллектора, где он сразу покажет напряжение на коллекторе. Чтобы изменить рабочую точку, можно изменить значение сопротивления в цепи базы, а затем запустить моделирование, что удобно сделать кнопкой на инструментальной панели (рис. 28.17).

# ПРОГРАММА МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMONE

## Входная характеристика биполярного транзистора

Я не знаю, как сегодня студентам рассказывают о нелинейных искажениях, но раньше на графиках это получалось очень наглядно. Попробуем построить графики в SimOne, чтобы повторить рисунки тех времен. Нам понадобится график зависимости тока базы от напряжения база-эмиттер транзистора.

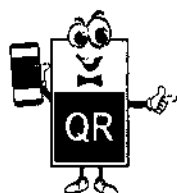


### СПРАВКА.

*Статическая входная вольтамперная характеристика биполярного транзистора – это зависимость тока базы от напряжения база-эмиттер при постоянном напряжении на коллекторе:  $I_b = f(U_{бэ})$  при  $U_k = \text{const}$ .*

Нарисуем схему. Для использования не идеального транзистора, а реальной модели, обратимся к библиотеке компонентов (рис. 29.1).

Библиотека компонентов достаточно представительная.



Найти программу можно на сайте компании ЭРЕМЕКС: SimOne позволяет проводить полнофункциональное SPICE-моделирование, а также исследование устойчивости схемы при изменении различных входных параметров.



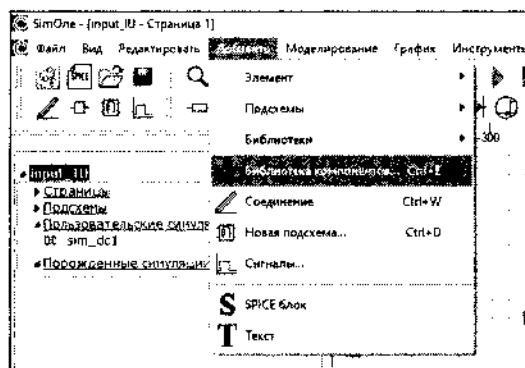


Рис. 29.1. Библиотека компонентов в программе SimOne

В разделе транзисторов найдем биполярные транзисторы структуры n-p-n, где и выберем транзистор 2N2222A. Этот транзистор есть почти во всех, а, может быть, и во всех программах моделирования (рис. 29.2).

Выбрав транзистор, используем кнопку Разместить, чтобы перейти в рабочее поле программы. Контур транзистора «прикреплен» к курсору мышки,

позволяя выбрать место, где компонент наилучшим образом впишется в схему. Для размещения компонента достаточно щелкнуть левой клавишей мышки. Программа поддерживает размещение ряда однотипных компонентов, но, если вам это не нужно, щелкните правой клавишей мышки и закройте окно выбора компонентов из библиотеки.

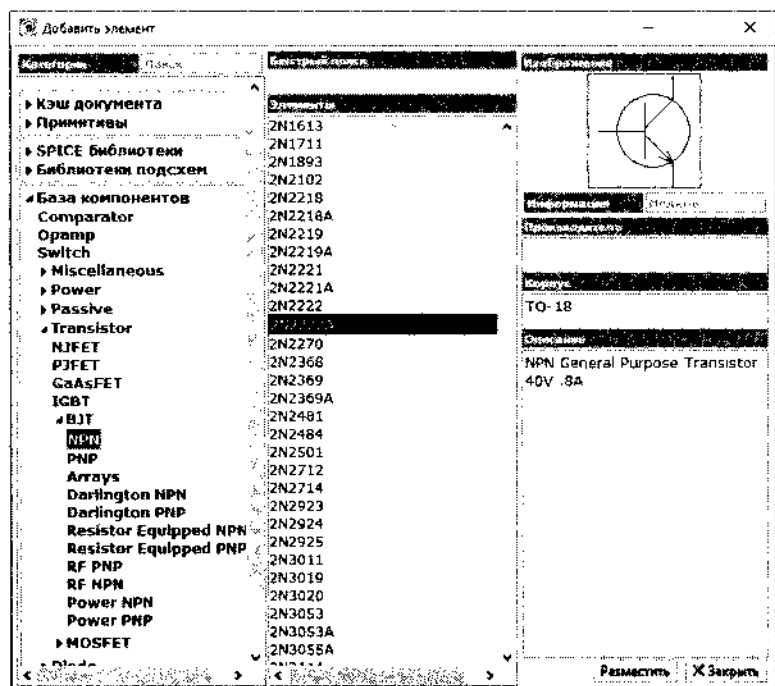


Рис. 29.2. Транзисторы n-p-n в библиотеке компонентов

## Некоторые проблемы при рисовании схемы

Многие компоненты при их добавлении в поле чертежа появляются в виде не совсем удобном для продолжения отрисовки схемы. Так, повернуть резистор не составляет труда, используя раздел основного меню *Редактировать*. Есть возможность повернуть и по часовой, и против часовой стрелки.



### СОВЕТ.

*Но я рекомендую перед этим сделать следующее: выделить маркировку компонента и «оттащить» ее мышкой в сторону; эту же процедуру проделать со значением компонента. После этого можно повернуть компонент, а обозначения переместить так, как удобно их видеть на схеме (рис. 29.3).*

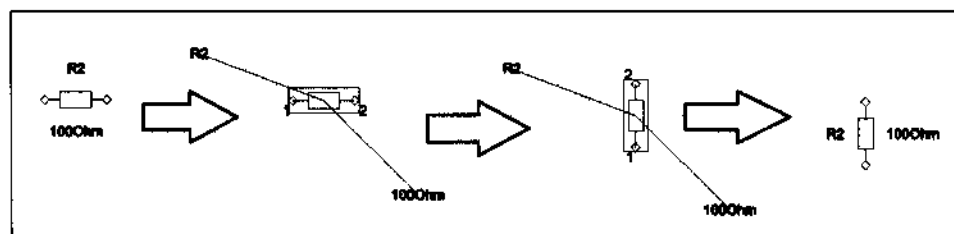


Рис. 29.3. Упорядочивание вида компонента при повороте

Программа имеет основное меню, где раздел *Добавить* позволяет найти все необходимое для будущей схемы, включая подсхемы. А остальные разделы обеспечивают полную работу со схемами. Удобно использовать для наиболее употребительных компонентов инструментальную панель.

Вид инструментальной панели можно изменить, достаточно заглянуть в раздел:

*Инструменты → Настройки → Панели инструментов.*

Иногда для отображения схемы не хватает места. Тогда можно закрыть левое окно, нажав на крестик в его верхней части. Вернуть описание документа поможет раздел *Вид → Документ*.

Как найти остальные компоненты схемы, ясно по виду инструментальной панели. В итоге получается такая схема (рис. 29.4).



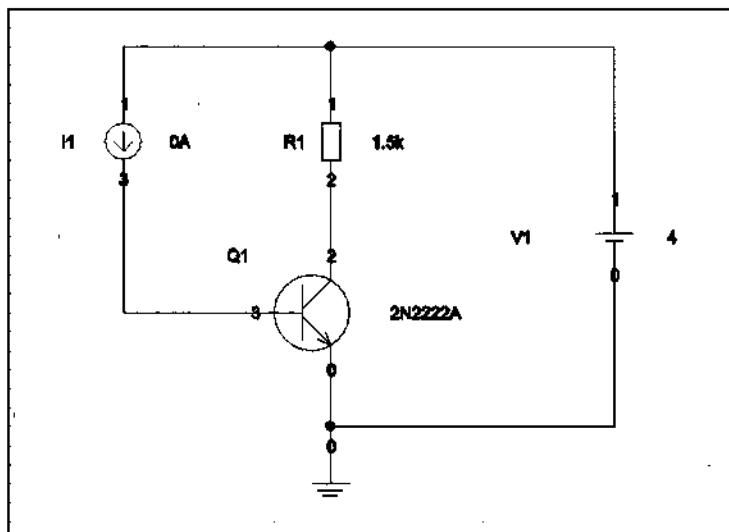


Рис. 29.4. Схема для получения входной характеристики транзистора на постоянном токе

Статические характеристики строятся для разных схем включения транзистора: с общей базой, общим коллектором, общим эмиттером. Мы используем последний вариант.

По определению характеристика строится при постоянном напряжении на коллекторе транзистора, поэтому резистор в цепи коллектора, скорее лишний элемент, но при проведении реальных испытаний лучше, наверное, оставить сопротивление или учесть рассеиваемую мощность на транзисторе при измерениях.

## И все-таки входная характеристика

Нас сейчас не интересует точное изображение характеристики, а ее поведение при изменении напряжения на коллекторе от нуля до заданного значения различается не слишком сильно. Хотя при реальном проведении испытания его следует осуществить при двух значениях напряжения на коллекторе транзистора.

Источник тока в цепи базы определит нужные токи, а для получения данных для настройки моделирования воспользуемся разделом Вид основного меню (рис. 29.5).

Все программы моделирования предлагают полный набор видов анализа: на постоянном токе, переходных процессов, частотный анализ

и т. д., — программа SimOne не исключение. Для выбора вида анализа есть раздел основного меню *Моделирование*.

Заглянув в этот раздел, вы можете найти пункты меню, которые есть не у всех аналогичных программ, например, *Расчет чувствительности по постоянному току* или *Анализ гармонического режима*.

Познакомиться с этими режимами анализа и прочитать обо всех элементах рабочего окна вы можете в «Справочном руководстве».

А наш путь лежит в раздел *Моделирование* → *Статический анализ*. В диалоге настройки анализа начнем с выбора компонента, который будет задавать «тон» нашему исследованию (рис. 29.6).

Диалоговое окно, как это видно на рис. 29.6, поддерживает ряд настроек, для которых есть закладки, открывающие соответствующую страницу.

Вид диалогового окна зависит от характера проводимого анализа, но в целом диалоги похожи, исчерпывая все необходимые настройки. В ряде случаев интересен анализ устойчивости схемы. Программа SimOne использует годограф Михайлова для проверки системы на устойчивость.

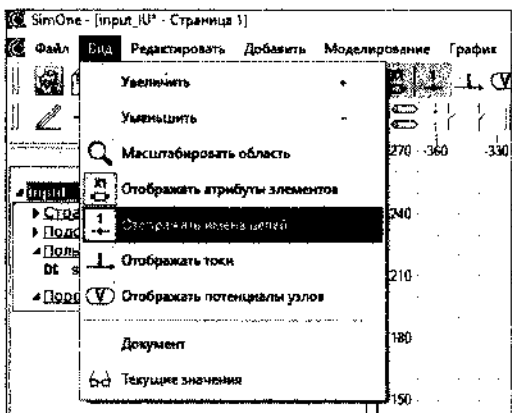


Рис. 29.5. Раздел Вид меню SimOne



### СПРАВКА.

Критерий устойчивости Михайлова является геометрической интерпретацией принципа аргумента. При изменении частоты  $\omega$  от  $-\infty$  до  $+\infty$  конец вектора характеристического уравнения на комплексной плоскости описывает кривую, которая называется характеристической кривой или годографом Михайлова.

Студопедия

В окне Параметр оставим **DC**, постоянный ток, в следующем окошке оставим **ноль**, затем введем **15 uA**, введем шаг **0.01uA** (рис. 29.7).

Осталось добавить напряжение для наблюдения, чтобы можно было запустить моделирование (рис. 29.8).

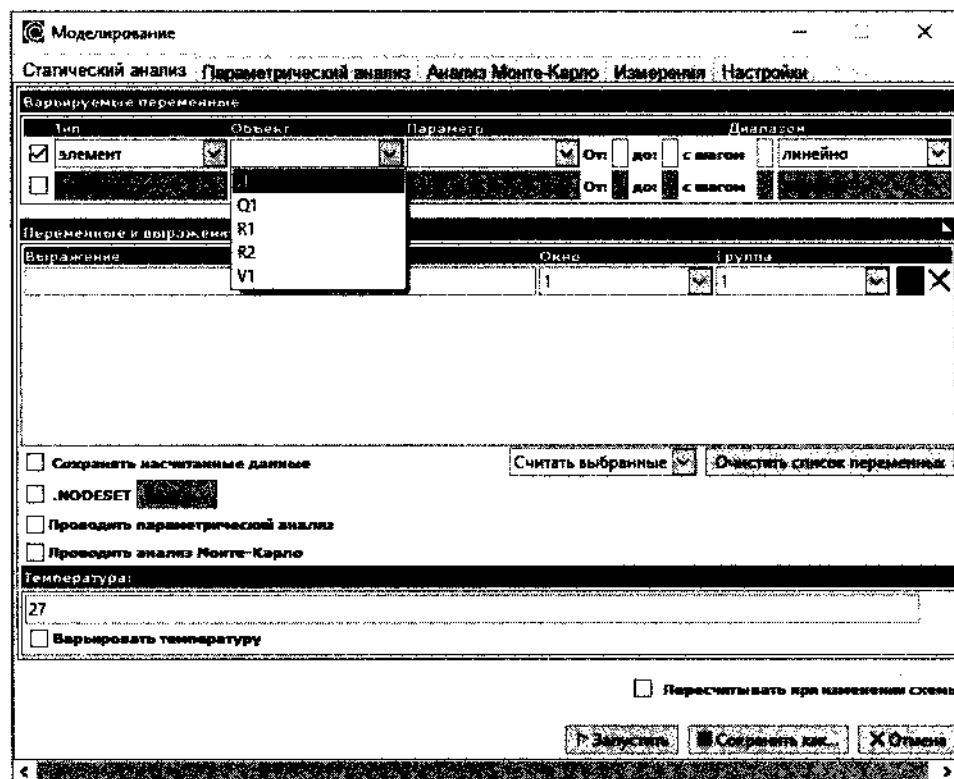


Рис. 29.6. Выбор источника изменений при моделировании

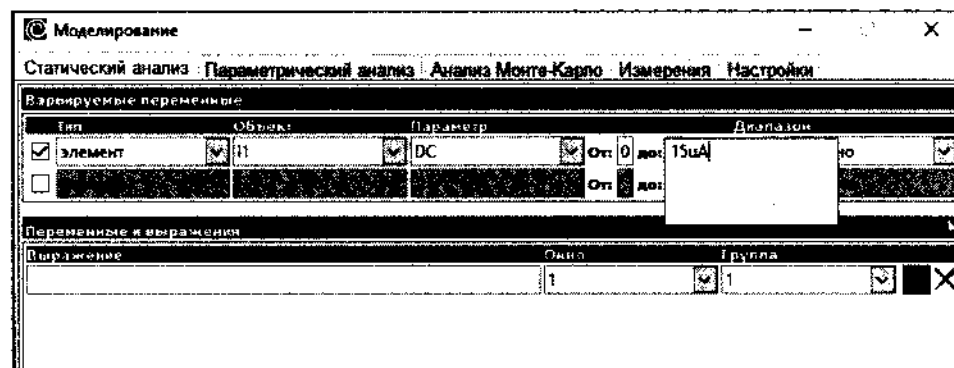


Рис. 29.7. Ввод данных для источника тока

В нижней части диалогового окна есть кнопка **Запустить**. Этой кнопкой запускаем моделирование схемы, чтобы получить (не совсем то, что я хотел, но...) результат моделирования (рис. 29.9).

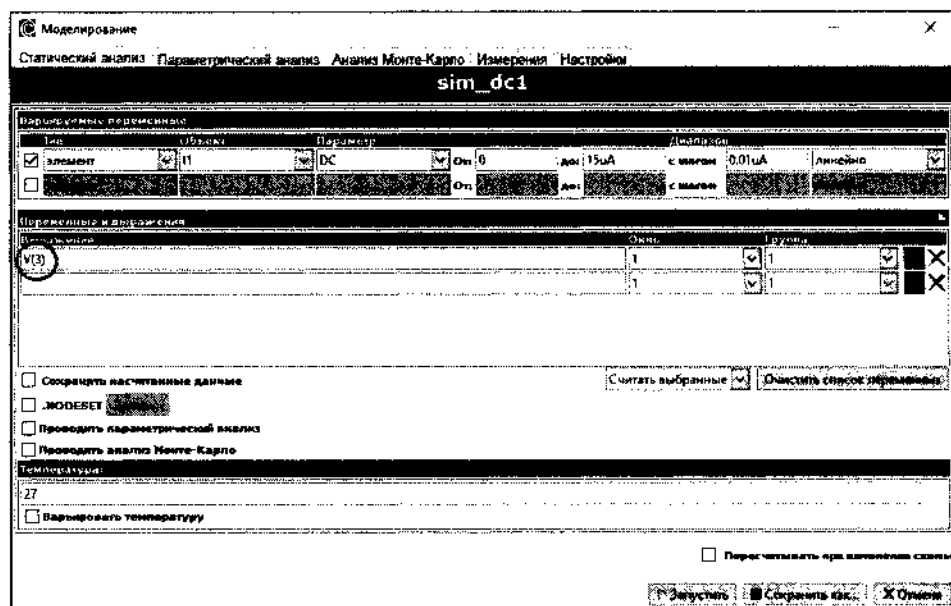


Рис. 29.8. Заполненный диалог моделирования

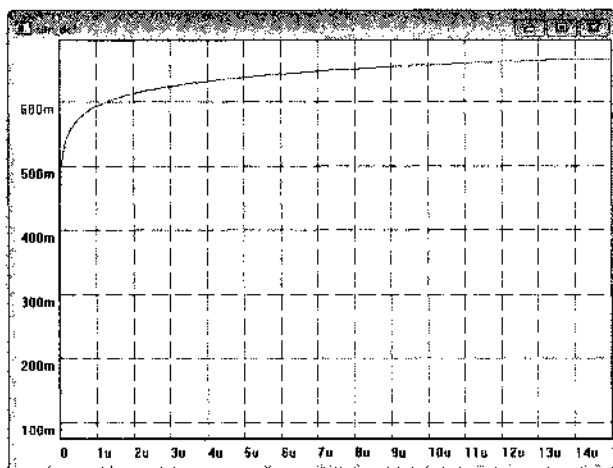
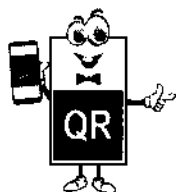


Рис. 29.9. Результат моделирования схемы в программе SimOne

Признаться, мне привычнее вид зависимости, где по оси X откладывается напряжение, а ток отображается на оси Y. Впрочем, для нашей цели это не столь важно. И, заметьте, такой же вид вольтамперной характеристики имеет полупроводниковый диод.



Больше узнать о статических характеристиках биполярных транзисторов вы можете из статьи в Студопедии.



Я хотел бы видеть график в другом положении, но для этого есть графические редакторы, благо и всю картинку рисовать там.

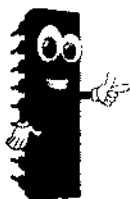
Чтобы получить привычный вид вольтамперной характеристики, я первоначально использовал не источник тока в базовой цепи, а источник напряжения между базой и эмиттером. Достаточно включить в базовую цепь резистор с сопротивлением, положим, в один ом (1 Ом), чтобы можно было увидеть зависимость тока базы от напряжения на базе. Падение напряжения на резисторе в цепи базы столь незначительное, что им можно пренебречь.

Но при изменении напряжения на базе от 0,5 В до 0,9 В ток базы достигает значения в 80—90 мА, что не соответствует, скорее всего, реальному положению дел. Удобнее оказалось использовать изменение базового тока в «благоразумных» пределах.

## Выходная статическая характеристика биполярного транзистора

Кроме входной характеристики, нам понадобится выходная характеристика. Для этого нарисуем схему еще раз, но для получения нужного нам вида моделирования. Сохраним предыдущий вариант, закроем его (как любые окна кнопкой в правом верхнем углу) и выберем создание новой схемы, где и нарисуем новую схему (рис. 29.10).

Резистор в цепи коллектора реальной схемы будет 1,5 кОм, но сейчас пусть будет так.



### СПРАВКА.

**Выходные статические характеристики биполярного транзистора** — это вольтамперные характеристики коллекторного электронно-дырочного перехода, смещенного в обратном направлении. Их вид также зависит от способа включения транзистора и очень сильно от состояния, а, точнее, от режима работы, в котором находится эмиттерный переход.

Студопедия

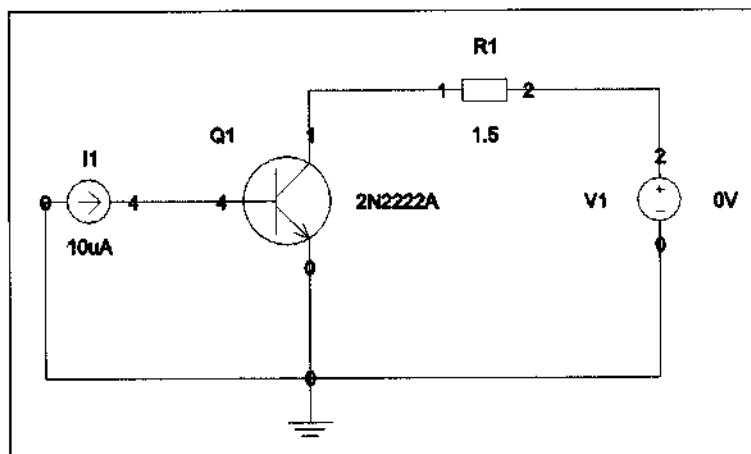


Рис. 29.10. Схема для получения выходной характеристики

Нужная зависимость выражается так:

$$I_k = f(U_{кэ}) \text{ при } I_b = \text{const.}$$

Измерения проводят для разных токов базы, получая семейство характеристик. В диалоге моделирования, который почти не отличается от предыдущего, введем новые данные (рис. 29.11).

На схеме (рис. 29.10) видно, что для проведения измерений добавлен еще один элемент, источник тока в цепи базы транзистора. Этот

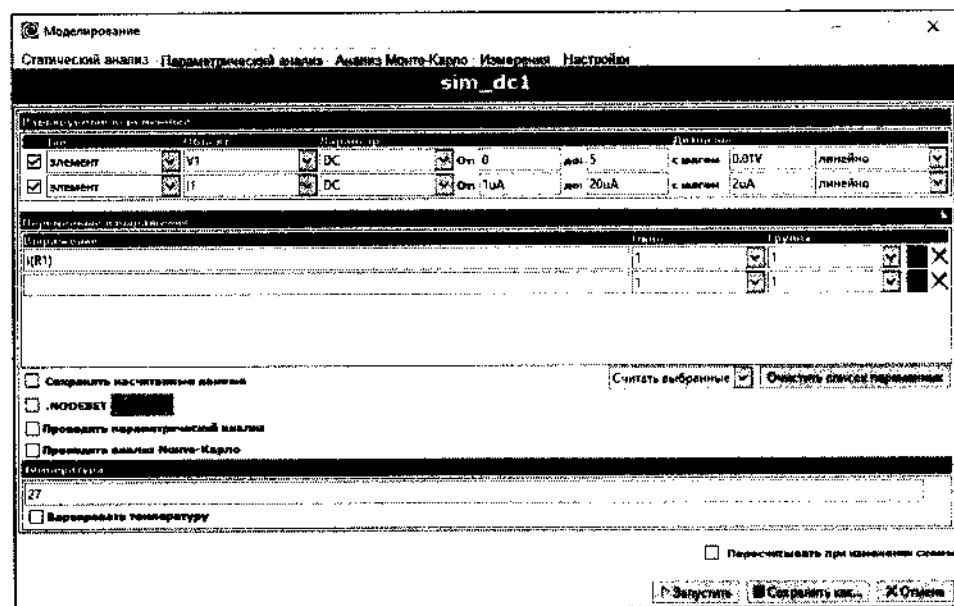


Рис. 29.11. Настройки для получения выходных характеристик

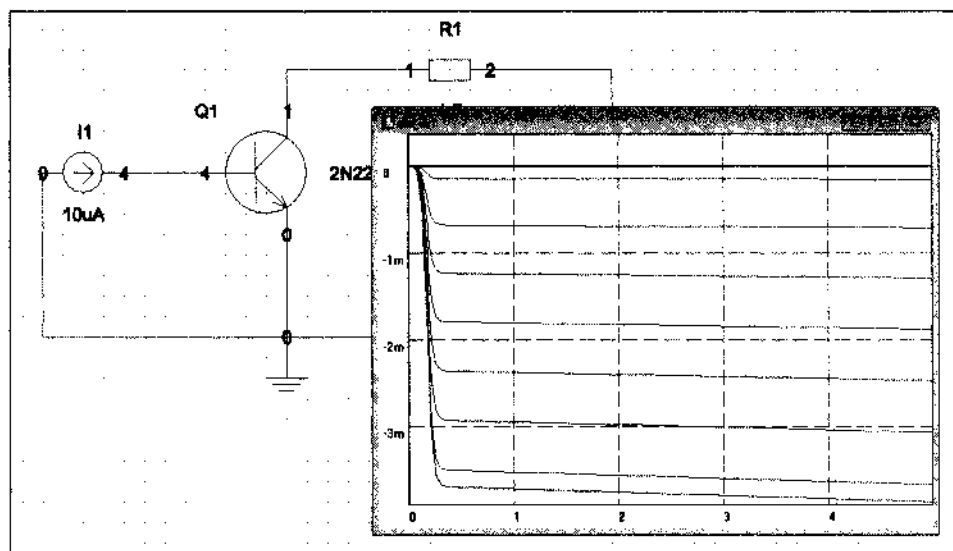


Рис. 29.12. Выходные характеристики

источник «перемен» добавляется и в диалоге настройки анализа (I1). Ток базы будет меняться при моделировании, что даст нам набор выходных графиков при разных значениях тока базы.

Но результат вновь получился не тот, который я ожидал. Почему-то ток коллектора оказался отрицательным (рис. 29.12).

Вероятно, ток через резистор считается положительным, если протекает из точки 1 в точку 2. Но в нашем случае направление тока, как это принято в технике, от положительного полюса батарейки к отрицательному.

**Радиолобитель:** Любые предположения следует проверять, не так ли?

Все так. Поэтому можно нарисовать простую схему, состоящую из источника напряжения и резистора. В первом случае источник напряжения будет располагаться привычным образом, то есть, слева от резистора.

При моделировании можно задать изменение напряжения от 0 до 10 вольт, с шагом, скажем, в один вольт. Результат моделирования очевиден — через резистор протекает ток в положительных единицах измерения.

**Второй эксперимент** повторяет предыдущий, но источник напряжения располагается справа, что обычно делать не приходит в голову. Но в этот раз результат моделирования показывает, что ток, протекающий через резистор, отрицательный.

Итог — предположение подтверждено фактом моделирования.

## И зачем все это было нужно?

Вернемся к тому, чем занимались. Теперь осталось поработать в графическом редакторе, чтобы показать, зачем я все это затеял (рис. 29.13). Ниже прямая АВ — это нагрузочная прямая, где:

- ♦ точка А отвечает току коллектора, когда транзистор полностью открыт;
- ♦ точка В — это напряжение на закрытом транзисторе (при напряжении питания 4 вольта).

Построение этой «композиции» производится по точкам. Чем больше взято точек, тем точнее построение.

Если бы эти графики выполнить на реальном листе бумаги, результат мог бы быть лучше, я полагаю. Но и в графическом редакторе удастся показать главное — как усиливается сигнал. И показать, что неудачный выбор рабочей точки в сочетании со слишком большим сигналом на входе приводит к очень большим нелинейным искажениям.

**Радиолюбитель:** *Это графики, которые можно строить, что называется, как угодно. А в действительности?*

Вы можете промоделировать схему, чтобы убедиться, результат усиленного сигнала будет очень похож.

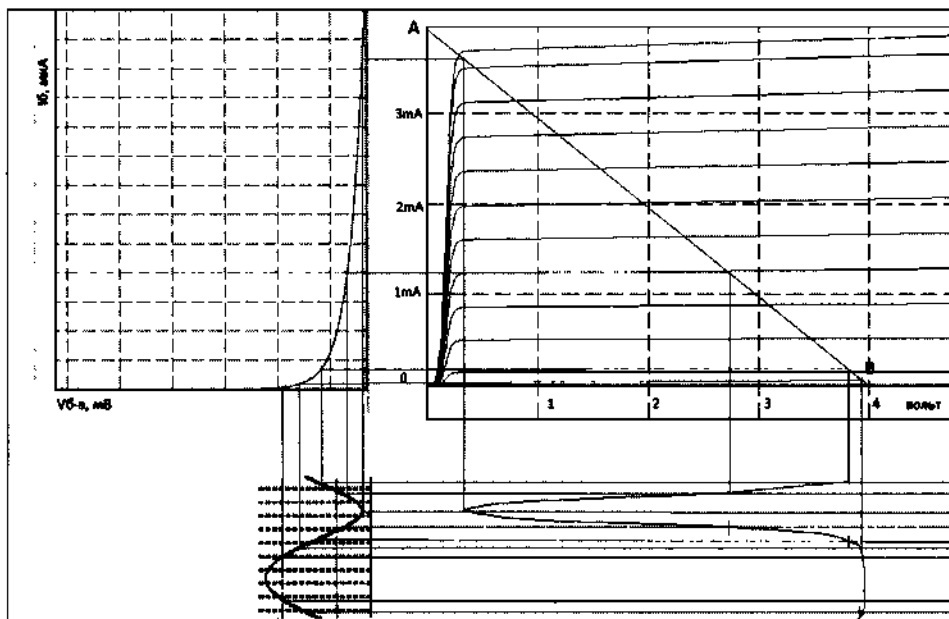


Рис. 29.13. Графическое представление усиления сигнала



# ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА И ИНТЕРНЕТ-ИСТОЧНИКИ



1. *Guillermo Gonzalez Foundations of Oscillator Circuit Design.* — ARTECH HOUSE INC.. — 2007.

2. *Аронов В.Л. и др. Полупроводниковые приборы: Транзисторы. Справочник.* М.: Энергоатомиздат. — 1985.

3. *Баюков А.В. и др. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы. Справочник.* — М.: Энергоатомиздат. — 1985.

4. *Белов А.В. Управление модулем ARDUINO по Wi-Fi с мобильных устройств.* — СПб.: Наука и Техника. — 2020.

5. *Вербицкий Л.В., Вербицкий М.Л. Настольная книга радиолюбителя-коротковолновика.* — СПб.: Наука и Техника. — 2012.

6. *Вербицкий Л.В., Вербицкий М.Л. Радиосвязь. Полное руководство.* — СПб.: Наука и Техника. — 2016.

7. *Гололобов В. Н. Ардуино для любознательных.* — СПб.: Наука и Техника. — 2017.

8. *Дубровский В.В. и др. Резисторы. Справочник.* — М.: Радио и связь. — 1991.

9. *Дьяконов М. Н. и др. Справочник по электрическим конденсаторам.* — М.: Радио и связь. — 1983.

10. *Никулин С. А., Повный А.В. Энциклопедия начинающего радиолюбителя.* — СПб.: Наука и Техника. — 2011.

11. *Черномырдин А.В. Семь шагов в электронику.* — СПб.: Наука и Техника. — 2013.

12. *Шмаков С.Б. Энциклопедия радиолюбителя.* — СПб.: Наука и Техника. — 2012.

13. *Шустов М. А. Цифровая схемотехника.* — СПб.: Наука и Техника. — 2018.

14. <http://nauchebe.net/2014/08/vysokochastotnye-usiliteli-na-mikroskhemax/> Высокочастотные усилители на микросхемах.

15. <https://lampaexpert.ru/svetodiodnaya-lenta/svetodiody/markirovka-smd-diody-stabilitrony>.

16. <https://megaobuchalka.ru/9/4588.html> — Классификация и параметры катушек индуктивности.

17. <https://www.matrixtsl.com/flowcode/> — сайт разработки программы Flowcode.

18. <https://ru.wikipedia.org/wiki> — Википедия, Свободная Энциклопедия.