

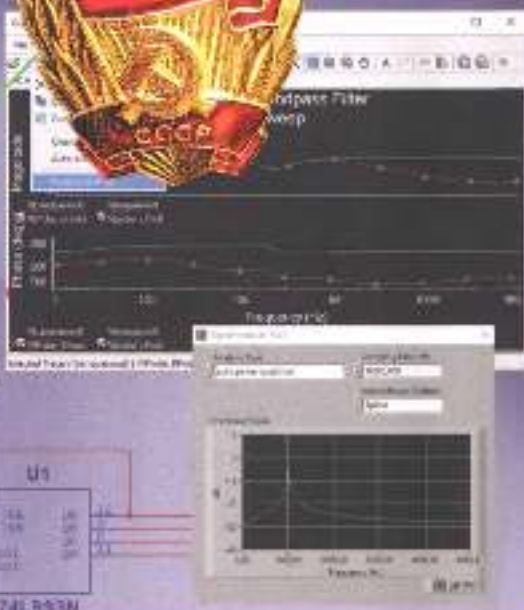
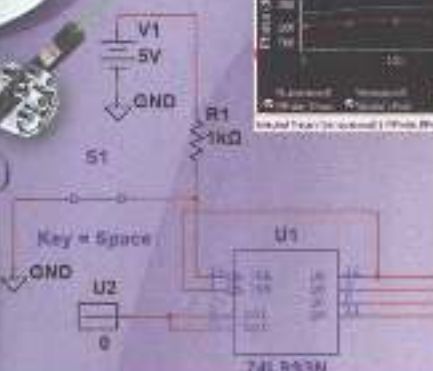
Гололобов В. Н.

# СХЕМОТЕХНИКА

с программой **Multisim**

## для любознательных

**ПРОСТО!**  
о СЛОЖНОМ!



- среда Multisim: обзор компонентов
- схемотехника: базовые понятия
- моделирование простых и сложных схем
- исследование работы реальной схемы блока питания
- полезные таблицы перевода терминов

Гололобов В. Н.

# **СХЕМОТЕХНИКА С ПРОГРАММОЙ MULTISIM ДЛЯ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ**



---

Наука и Техника, Санкт-Петербург



УДК 621.314:621.311.6

ББК 39.52, 32.85

Гололобов В. Н.

СХЕМОТЕХНИКА с программой Multisim для любознательных. — СПб.: Наука и Техника, 2019. — 272 с., илл.

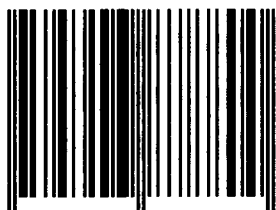
**ISBN 978-5-94387-880-0**

В книге для любознательных представлена популярная программа моделирования Multisim. Она знакомит со схемотехникой аналоговых, цифровых, смешанных и микропроцессорных устройств.

Когда-то программа привлекла внимание радиолюбителей под именем EWB512. С той поры она многократно модифицировалась. Сегодня она входит в пакет программ под названием NI Circuit Design Suit. Программа может представлять интерес не только для учебных заведений и радиолюбителей.

Ознакомление с этой программой дает представление о работе современного инженера-электронщика, а для кого-то такое знакомство станет основанием для выбора профессии. И не только для школьника! Так люди вполне успешные в своей профессии, оказавшись по разным причинам не у дел, могут получить новую квалификацию и найти новую работу. Для многих новая работа обязательно ассоциируется с переездом в другой город. Но сегодня далеко не всегда нужно ежедневно ходить на работу. Интернет позволяет выполнить работу за компьютером и отправить ее работодателю. Словом, знакомьтесь — схемотехника с программой Multisim.

Для широкого круга читателей, интересующихся радиоэлектроникой и практической схемотехникой.



9 785943 878800

**ISBN 978-5-94387-880-0**

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+

© Гололобов В. Н.

© 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 22.08.2018 г. Формат 70×100 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Объем 17 п. л.

Тираж 1200 экз. Заказ №8287.

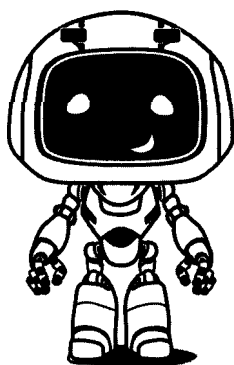
Отпечатано с готовых файлов заказчика  
в АО «Первая Образцовая типография»  
филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ»  
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

# СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Предисловие</b> .....                                                                    | <b>6</b>  |
| <b>Глава 1. Что же такое программа Multisim?</b> .....                                      | <b>8</b>  |
| Первое знакомство .....                                                                     | 8         |
| Первая схема .....                                                                          | 14        |
| Программа разводки печатной платы .....                                                     | 25        |
| <b>Глава 2. К чему прикованы электрические цепи?</b> .....                                  | <b>31</b> |
| Базовые понятия .....                                                                       | 31        |
| Активное сопротивление и сопротивление реактивное. ....                                     | 37        |
| Индуктивность и конденсатор,<br>индуктивность и индуктивность .....                         | 44        |
| Разные переменные токи (или напряжения). ....                                               | 47        |
| <b>Глава 3. Полупроводниковые компоненты в программе Multisim.</b> ...                      | <b>51</b> |
| Как бракованный материал стал ведущим .....                                                 | 51        |
| Транзистор .....                                                                            | 55        |
| Параметры диодов и транзисторов,<br>важные для начинающих .....                             | 57        |
| <b>Глава 4. Что можно приготовить из полупроводников,<br/>и какие нужны «специи»?</b> ..... | <b>61</b> |
| Усилитель с общим эмиттером .....                                                           | 61        |
| Параметры каскада усиления .....                                                            | 66        |
| Рабочая полоса частот усилителя и другие параметры .....                                    | 73        |
| <b>Глава 5. Параметры, помехи и прочие атрибуты усилителей</b> .....                        | <b>81</b> |
| Отрицательная обратная связь в многокаскадном усилителе ..                                  | 81        |
| Некоторые применения операционного усилителя .....                                          | 84        |
| Выходные каскады усилителей,<br>проблемы и схемные решения .....                            | 92        |
| Усилитель класса D .....                                                                    | 94        |
| <b>Глава 6. Фильтры</b> .....                                                               | <b>98</b> |
| Интегрирующая и дифференцирующая цепь .....                                                 | 98        |
| Некоторые фильтры, применяемые на практике .....                                            | 104       |

|                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Глава 7. Источники питания.</b>                                  | <b>113</b> |
| Батарейки и аккумуляторы                                            | 113        |
| Выпрямители и адаптеры                                              | 116        |
| Стабилизаторы                                                       | 120        |
| Преобразователи напряжения                                          | 123        |
| <b>Глава 8. Вещание</b>                                             | <b>128</b> |
| Проводное вещание                                                   | 128        |
| Амплитудная модуляция и не только                                   | 132        |
| <b>Глава 9. Импульсы и цифры</b>                                    | <b>139</b> |
| Цифровые микросхемы                                                 | 139        |
| Динамические представители цифровых микросхем                       | 143        |
| Память и другие аксессуары процессора                               | 148        |
| <b>Глава 10. Несколько слов о Multisim версии 14.1.</b>             | <b>153</b> |
| <b>Глава 11. Регистры и другие цифровые микросхемы</b>              | <b>159</b> |
| Регистры                                                            | 159        |
| Дешифратор                                                          | 162        |
| Мультиплексор                                                       | 165        |
| Сумматор                                                            | 167        |
| Что означает TTL и CMOS?                                            | 169        |
| <b>Глава 12. Аналого-цифровые<br/>и цифро-аналоговые устройства</b> | <b>171</b> |
| Аналого-цифровой преобразователь                                    | 171        |
| Цифро-аналоговый преобразователь                                    | 173        |
| <b>Глава 13. Некоторые аналоговые и цифровые устройства</b>         | <b>176</b> |
| Высокочастотный усилитель на 433 и 800 МГц                          | 177        |
| Перестраиваемый генератор                                           | 179        |
| Измеритель емкости                                                  | 180        |
| Формирователь для работы с частотомером                             | 181        |
| Очень простой таймер                                                | 183        |
| Цифровой генератор с регулировкой длительности импульсов            | 184        |
| Индикатор к генератору<br>с регулировкой скважности импульсов       | 185        |
| Светофор на цифровых микросхемах                                    | 186        |
| Реверсивный счетчик                                                 | 186        |
| Чтение ПЗУ                                                          | 187        |

|                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Работа шагового двигателя с применением контроллера . . . .                   | 189        |
| Модель сверлильного станка . . . . .                                          | 193        |
| Модель транспортера . . . . .                                                 | 193        |
| <b>Глава 14. Исследование в Multisim . . . . .</b>                            | <b>195</b> |
| Схема опыта со стабилизированным блоком питания . . . . .                     | 195        |
| Исследование динамических параметров блока питания<br>в NI Multisim . . . . . | 197        |
| <b>Глава 15. Автоматика . . . . .</b>                                         | <b>204</b> |
| Микроконтроллер . . . . .                                                     | 204        |
| Отдельный разговор . . . . .                                                  | 211        |
| Первый проект – мигалка . . . . .                                             | 212        |
| Второй проект – светофор . . . . .                                            | 221        |
| Проект третий – генератор . . . . .                                           | 225        |
| <b>Глава 16. О других компонентах и иерархических схемах . . . . .</b>        | <b>231</b> |
| <b>Глава 17. Ultiboard, программа разводки печатных плат . . . . .</b>        | <b>244</b> |
| <b>Послесловие . . . . .</b>                                                  | <b>255</b> |
| <b>Приложение. Перевод некоторых терминов . . . . .</b>                       | <b>256</b> |
| <b>Использованная литература и ресурсы Интернета . . . . .</b>                | <b>270</b> |



# ПРЕДИСЛОВИЕ

Дорогой Новичок! Обычно людей не интересуют вопросы схемотехники, их интересуют готовые устройства. Когда-то это были радиоприемники, затем телевизоры и магнитофоны. Сегодня смартфон многим заменяет и радиоприемник, и телевизор, и магнитофон, и фотоаппарат, оставаясь, в сущности, просто телефоном. А зачем нам схемотехника?

**Новичок:** *Схемотехника — это... Это что? Такое слово даже мой Word не знает. Он все время его подчеркивает, когда я пишу это слово. Во как!*

Разберемся. Заглянем сначала в wiki:

**Схемотехника** — научно-техническое направление, занимающееся проектированием, созданием и отладкой (синтезом и анализом) электронных схем и устройств различного назначения.

Понятие схемотехника применимо к широкому кругу электронных устройств, от сложных систем до отдельных транзисторов внутри интегральной схемы. При этом реализация простых задач вполне по плечу и одному человеку без дополнительной помощи. Для решения сложных проблем необходим системный подход, компьютерное моделирование и привлечение специальных инженерных команд.

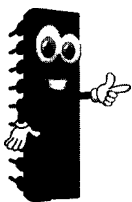


*Однако в любом случае схемотехника на практике занимает промежуточное положение между возникновением идеи и производством готовой электронной схемы.*

Разработка современных устройств — это в значительной мере разработка микросхем. Но и в этом случае, похоже, не обходится без традиционного создания схемы устройства. Более глубокие познания в схемотехнике вы можете почерпнуть в книге Гаврилова С.А. [1].

Инженерную работу по созданию схемы существенно облегчают и ускоряют **программы моделирования электрических цепей**. В качестве примера в книге будет использована программа **Multisim**.

Эта программа входит в **пакет NI Circuit Design Suite**, где еще одна программа Ultiboard предназначена для разводки печатных плат. Подобный «симбиоз» характерен для современного сквозного проектирования электронных устройств. Этому, используя NI CircuitDesignSuite, обучают в колледжах и вузах, а затем студенты реализуют полученные знания на предприятиях.

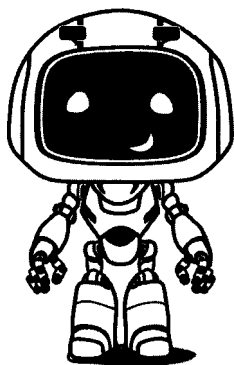


#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*На сайте National Instruments вы можете прочитать:*

- ♦ *Multisim для обучения — это прикладное программное обеспечение для обучения схемотехнике. Оно предназначено для курсов обучения аналоговой, цифровой и силовой электронике, а также лабораторий;*
- ♦ *Multisim для разработки — предоставляет инженерам инструменты моделирования, анализа и проектирования печатных плат с поддержкой SPICE. Они позволяют быстро проводить циклы проектирования и повышать производительность прототипов.*

И это — истинная правда.



# ЧТО ЖЕ ТАКОЕ ПРОГРАММА MULTISIM?

## || Первое знакомство

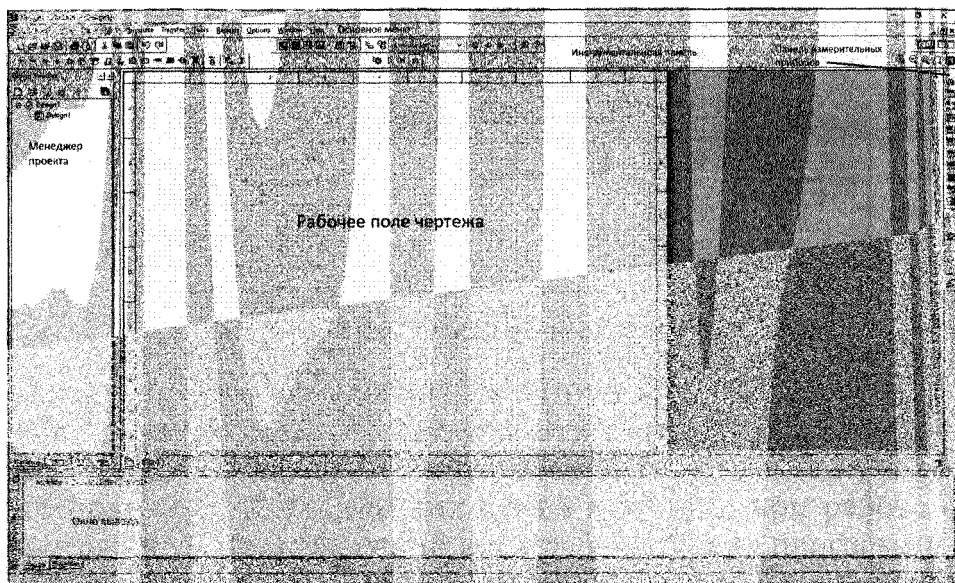
В историческом плане я мог бы начать с программы EWB512, что расшифровывается как Electronics Workbench v.5.12. Много лет назад, когда правила были не столь строги, эту программу в Москве можно было купить на «Горбушке», что я когда-то и сделал по совету одного из знакомых, чтобы, вы будете смеяться, чтобы нарисовать синусоиду, которую мне не удавалось нарисовать в графическом редакторе.

Пытаясь получить нужный мне рисунок, я заинтересовался самой программой. Хотя уже тогда для работы это было не нужно, интерес к программам моделирования остался. Сегодня, летом 2018 года, программа входит в состав NI Circuit Design Suite 14.1.

Перед установкой программы следует обязательно прочитать руководство к ней в части установки, которое вы получите вместе с программой, и которое, скорее всего, найдется в папке документации. Хотя помощник по установке программы многое делает за вас, если не мешать ему.

**Новичок:** *А где найти саму программу?*

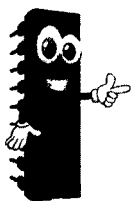
Программу можно купить, обратившись к сайту [8]. Там же можно найти примечания к последним версиям, дополнения к



**Рис. 1.1.** Окно программы Multisim

руководству, ссылки на форум. Полезно будет прочитать книгу о программе [3].

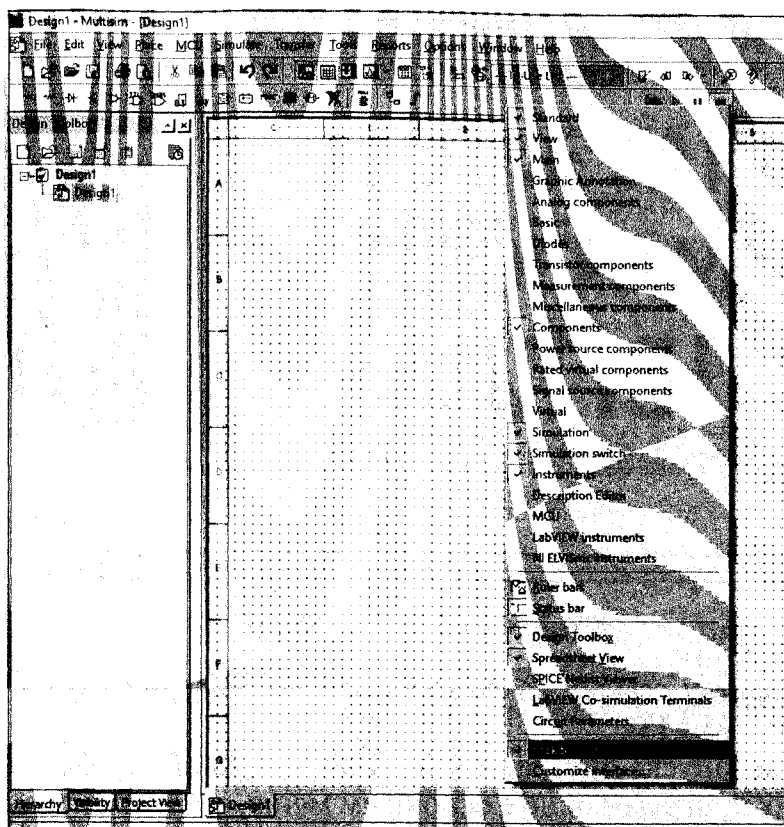
При запуске программы Multisim вы увидите обычное для многих программ окно с основным меню, инструментальными панелями и другими необходимыми атрибутами (рис. 1.1).



#### **ПРИМЕЧАНИЕ.**

*Немного необычный вид инструментальной панели придает выключатель в правом верхнем углу. Это включение и выключение моделирования электрических цепей.*

Если у вас вид окна такой же, как у меня, вы можете внести некоторые изменения в вид инструментальной панели. Щелкните правой клавишей мышки по инструментальной панели, чтобы в выпадающем меню убрать отметку возле раздела фиксации элементов (*Lock toolbars*), как это показано на рис. 1.2.

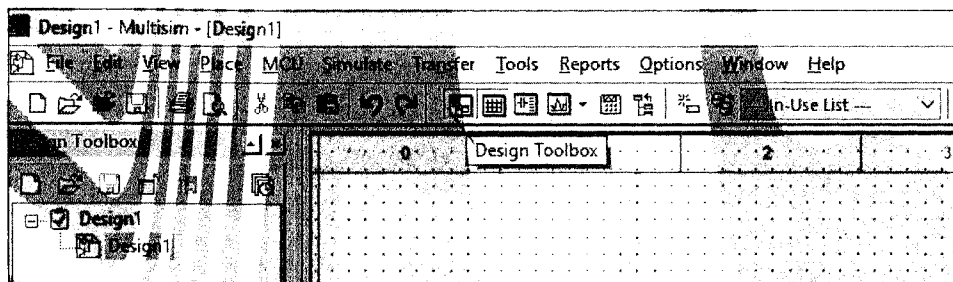


**Рис. 1.2.** Выпадающее меню инструментальной панели

Чтобы разблокировать элементы панели достаточно щелчка левой клавиши мышки по этому разделу. Теперь все элементы (все панельки) можно подхватить мышкой (нажать и удерживать левую клавишу) и перенести в удобное для вас место. После завершения обустройства панели повторите вызов выпадающего меню и закрепите элементы панели щелчком по разделу *Lock toolbars*.

**Новичок:** *На панели столько разных кнопок, так и должно быть?*

Панель можно организовать так, как удобнее при работе. Работая с разными схемами, вы можете менять вид инстру-



*Рис. 1.3. Кнопка отключения окна проекта*

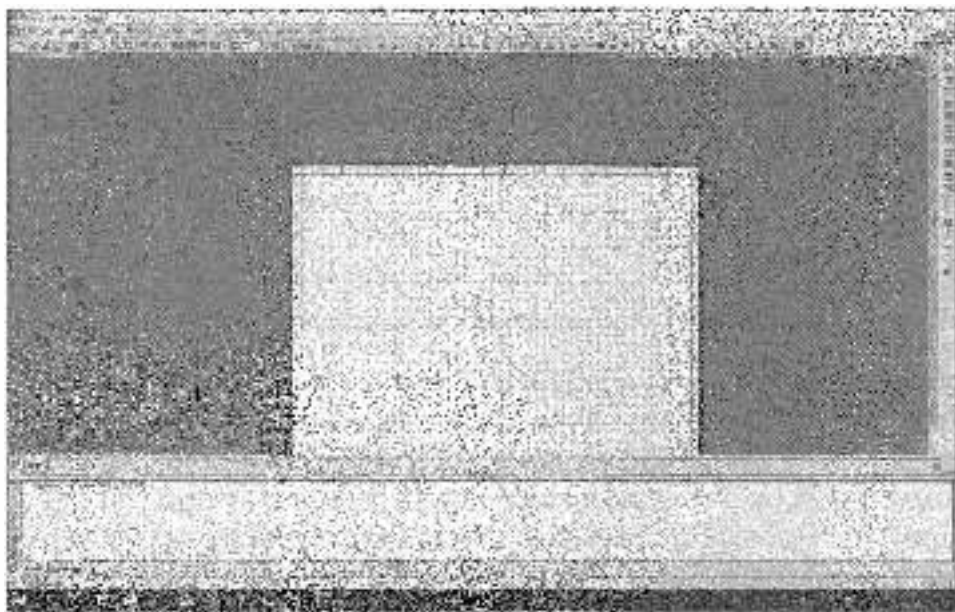
ментальной панели, добавлять что-то или убирать ненужные в данный момент элементы. Этим вы не только освободите место для рабочего поля, но и облегчите поиск нужных компонентов электрических цепей и команд при работе с программой или изменений вида рабочего окна программы. Например, вы можете убрать или вернуть окно менеджера проекта (*Design Toolbox*). Достаточно нажать на кнопку с иконкой **Design Toolbox** (подпись к ней появится при наведении на нее курсора *рис. 1.3*).

Теперь рабочее поле чертежа стало больше, с ним легче работать, а при необходимости вернуть окно проекта нажмите эту кнопку инструментальной панели еще раз. И еще, если курсор мышки в рабочем поле чертежа, то колесико мышки будет уменьшать или увеличивать чертеж. Для выполнения этих операций можно использовать и основное меню программы, пункт *View*.

### **Новичок:** А как лучше?

Лучше так, как удобнее лично для каждого. Поскольку есть еще и горячие клавиши. Откройте основное меню — почти возле каждого раздела прописаны горячие клавиши, выполняющие означенные действия. Многие предпочитают использовать клавиатуру.

Наконец, с помощью мышки вы можете уменьшить или увеличить окно вывода информации. Переместите курсор мышки в эту область, наблюдайте за курсором, а когда его вид изменится (он станет похож на конденсатор со стрелками



*Рис. 1.4. Изменение размера окна вывода информации*

вместо выводов), нажмите левую клавишу мышки и переместите появившуюся полоску в новое место (**рис. 1.4**).

Вы можете включить **режим полного экрана**, нажав кнопку инструментальной панели в ее части работы с размерами вида (крайняя справа кнопка на инструментальной панели вида, **рис. 1.4**). Работая с различными схемами, вы можете использовать разные форматы чертежа. Для этого обратите внимание на пункт основного меню *Edit*, где есть раздел свойств (**рис. 1.5**). В диалоговом окне свойств много вкладок, вам нужна закладка рабочего пространства, *Workspace*.

В разделе свойств можно изменить все, что вас не устраивает. Но сейчас мы говорим о **формате чертежа** (**рис. 1.6**).

Первая закладка этого диалогового окна позволяет вам настроить ряд свойств отображения компонентов: будут ли они отображаться с названиями, значениями и т. д.; настроить имена сетей, соединители, ввод шин. Закладка *Colors* настраивает цвета всех элементов схемы:

- ◆ компонентов с моделью;
- ◆ компонентов без модели;
- ◆ текста и т. п.

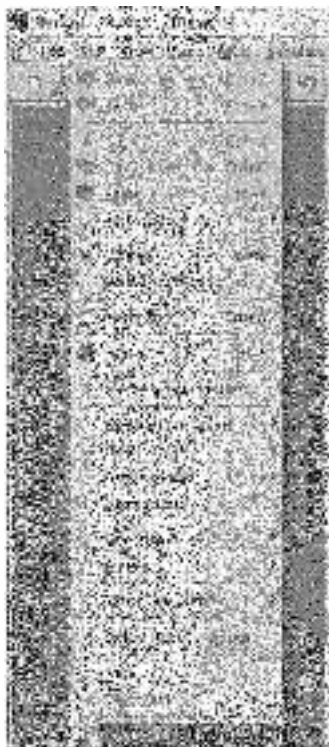


Рис. 1.5. Раздел свойств чертежа

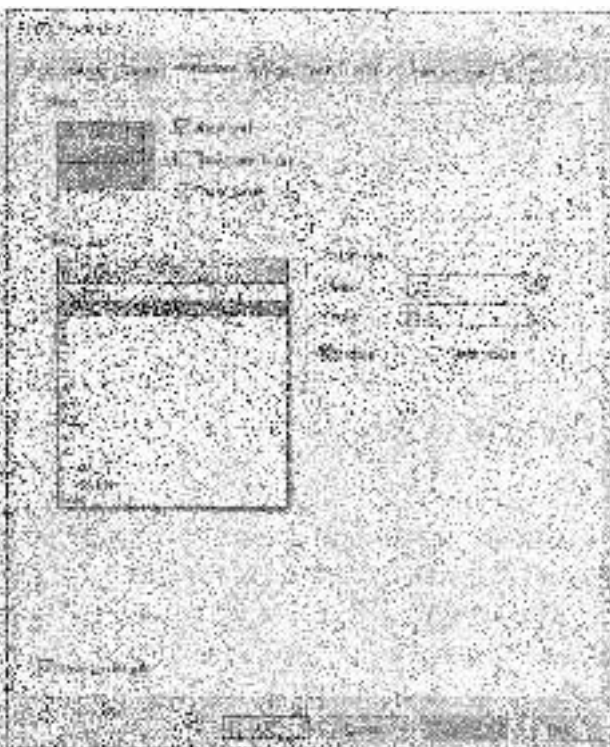


Рис. 1.6. Выбор формата чертежа на закладке рабочего пространства

Закладка **Wiring** дает возможность выбрать толщину соединений и шин. На закладке **Font** вы можете:

- ♦ выбрать шрифт, его вид и размер;
- ♦ определить эти настройки для всех элементов схемы.

Закладка **PCB** относится к настройкам при разводке печатных плат. На последней закладке вы настраиваете слои рисования.

Программа предоставляет многое для вашего удобства при работе, чтобы вы могли сосредоточиться на главном, на разработке и проверке схемы, а не на поисках нужной кнопки на панели или нужного компонента схемы.



## СОВЕТ.

*Многие начинающие склонны искать русификацию программы, но это полезно только в том случае, если русификация программы выполнена производителем. Если это не так, то из-за изменений, внесенных в программу, вас могут подстерегать неожиданности, с которыми трудно справиться.*

## Первая схема

Среди примеров в поставке программы много интересных схем, например, такая схема (рис. 1.7).

Моделируя работу предлагаемых устройств, можно многое узнать и понять из того, как устроены эти электронные устройства.

**Новичок:** А среди примеров только цифровые схемы?

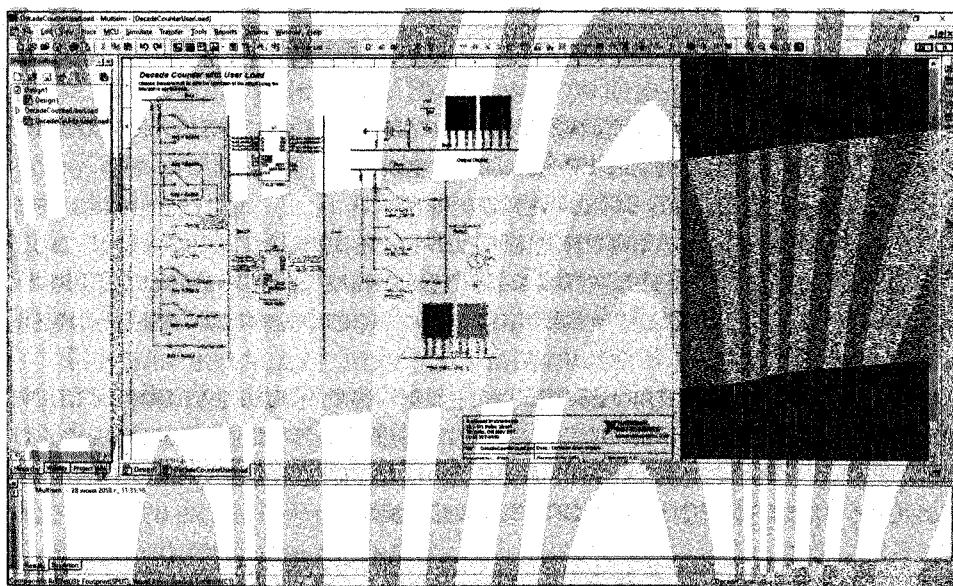


Рис. 1.7. Схема цифрового счетчика



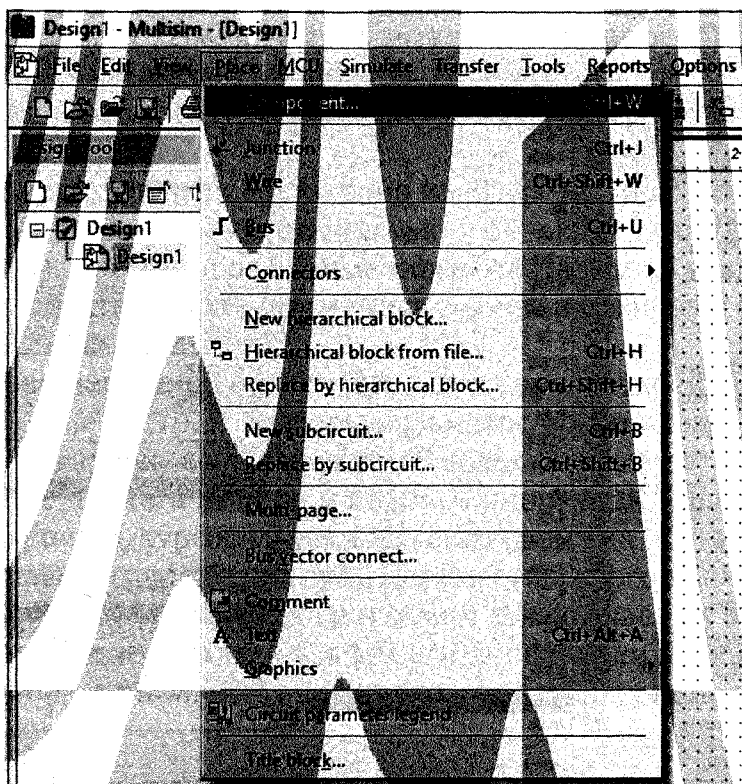


Рис. 1.8. Раздел компонентов в основном меню

Нет, примеры охватывают широкий спектр схем: есть цифровые, есть и аналоговые, есть и импульсные. Но гораздо полезнее самому научиться собирать схемы. Мы начнем с очень и очень простой схемы. Для этого можно использовать кнопки основной инструментальной панели с пиктограммами компонентов, а можно обратиться к основному меню. В пункте меню *Place* есть раздел *Component* (рис. 1.8).

### СОВЕТ.



*В первых опытах, это только мое мнение, удобнее использовать инструментальную панель, где пиктограммы изображают базовые элементы.*

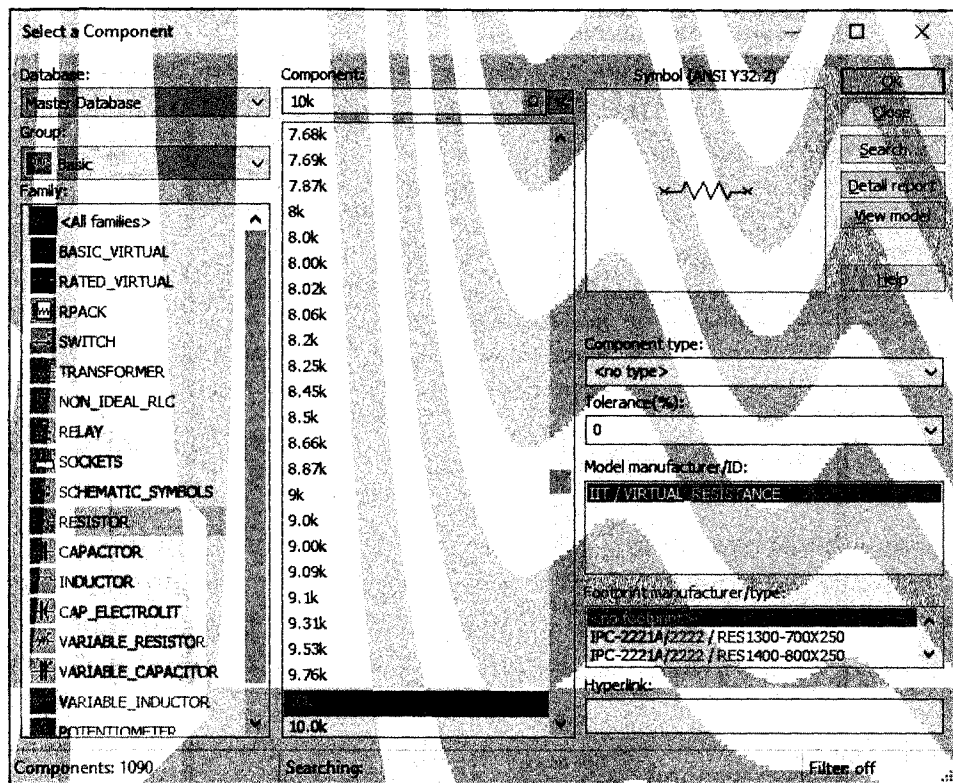


Рис. 1.9. Окно выбора базовых компонентов

При наведении курсора на кнопку появляется подсказка. Выберем кнопку с подсказкой *Place Basic* и нарисованным на ней резистором (изображенным в стандарте ANSI). Нажатие этой кнопки вызывает появление окна выбора компонентов из набора основных: резисторы, конденсаторы, реле и т. п. (рис. 1.9).

На рисунке выбран подраздел резисторов, которые и нужны сейчас. Обратите внимание на окошко с надписью *Tolerance* (точность).

### Новичок: Точность чего?

Резисторы, употребляемые в электронных устройствах, имеют разную точность изготовления. При номинале резистора

стора, скажем, 1 кОм, резистор может иметь сопротивление с разбросом в несколько процентов. Конечно, чем ближе сопротивление к номиналу, тем лучше. Но не только лучше, но и дороже!

Во многих случаях достаточно иметь резистор с сопротивлением, определяемым точностью в 10—20%. Это дешевые резисторы, а резисторов в схеме может оказаться ой как много. Какой точности следует применить резисторы, зависит от конкретной схемы.

Сейчас нам понадобится два резистора, батарейка, вольтметр и амперметр. Резисторы возьмем с номиналом 1 кОм и 3 кОм, а батарейку с напряжением 9 вольт. Отметим этот номинал в окне диалога выбора и нажмем кнопку **ОК**. Диалоговое окно закроется, курсор мышки изменит свой вид (к нему будет прикреплен символ резистора). Переместим курсор на свободное место будущего чертежа и нажмем левую клавишу мышки. Резистор останется там, куда мы его определили, а окно диалога выбора компонентов **вновь** появится на экране.



#### ПРИМЕЧАНИЕ

Если вы сочтете неудобным появление окна выбора компонентов после того, как вы выбрали нужный вам компонент, то можно изменить поведение менеджера компонентов. Для этого следует снять флажок *Return to Component Browser after placement* на закладке *Components* диалогового окна *Global Options*.

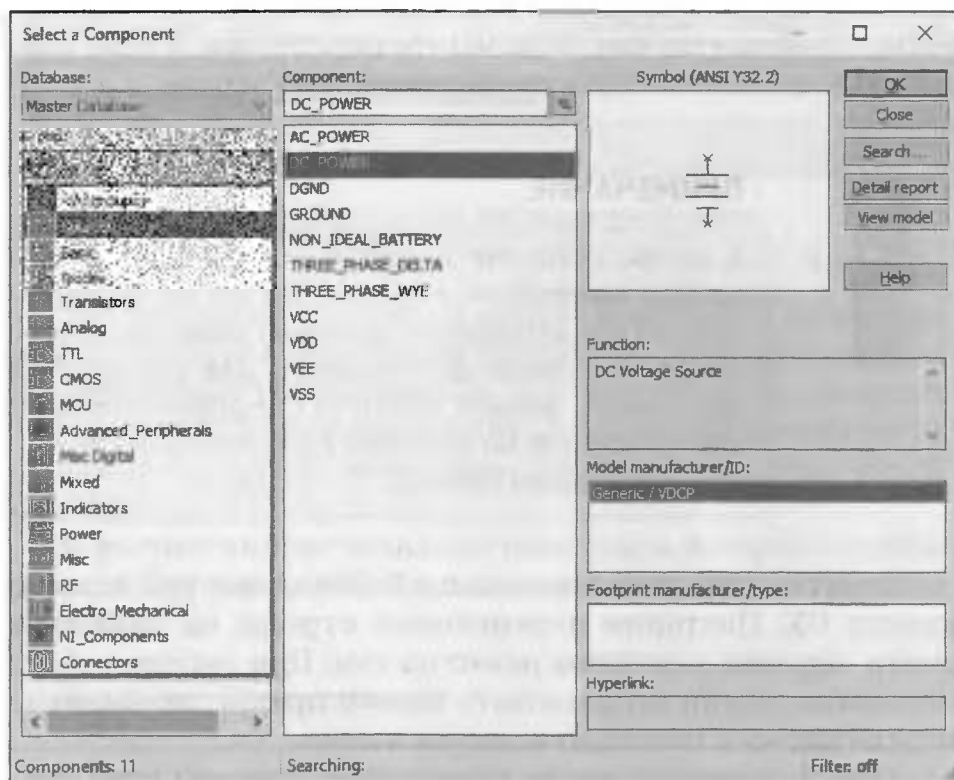
Отметим резистор номиналом 3 кОм и еще раз нажмем кнопку **ОК**. Повторим перемещение курсора на свободное место чертежа и оставим резистор там. При выборе нового номинала можно использовать полосу прокрутки, а можно перемещаться с помощью колесика мышки.

Теперь, пожалуй, что не обязательно, закроем окно диалога, нажав на кнопку **Close**. Для выбора батарейки используем

кнопку инструментальной панели с иконкой заземления. Этим мы переместимся в диалоге выбора компонентов к источникам. Выберем в левом окошке *POWER\_SOURCES*, а в правом *DC\_POWER*.

**Новичок:** *А почему не обязательно было закрывать диалоговое окно?*

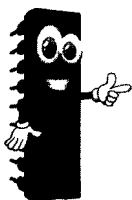
После выбора резисторов можно продолжить работу. Нажмите слева от окошка, отмеченного как *Group*, стрелку вниз, что откроет список всех групп компонентов (рис. 1.10).



**Рис. 1.10.** Группы компонентов

**ЭТО ВАЖНО.**

*Обратите внимание, что есть два вида «земли»: GROUND и DGND. Символы этих заземлений немного различаются. Первое заземление предназначено для аналоговых схем, второе для цифровых устройств. В некоторых случаях земли могут объединяться произвольно при смешанной схеме, содержащей и аналоговые, и цифровые компоненты. В других случаях объединение этих заземлений задача, которую нужно решать отдельно.*

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

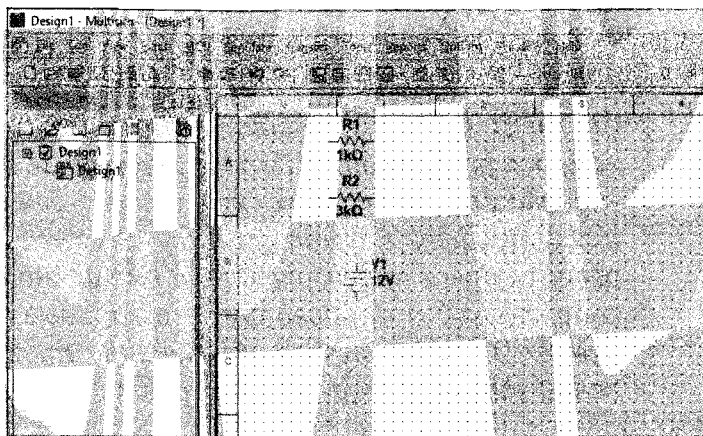
*Обратите внимание на разделы VCC, VDD, VEE и VSS. Это источники питания, которые можно использовать, например, для операционных усилителей, компараторов.*

Если не закрывать окно диалога, можно выбрать новую группу компонентов. Выбрав источник постоянного напряжения, нажмем кнопку **ОК**, переместим курсор в нужное место, где и оставим батарейку. Мы выбрали все компоненты будущей схемы (рис. 1.11).

**ЭТО ВАЖНО.**

*При комплектации всех элементов схемы старайтесь выбирать все компоненты последовательно, чтобы следовать правилу черчения схемы — нумерация элементов идет сверху-вниз, слева-направо. Впрочем, это можно исправить позже, но, как правило, об этом забываешь.*

Мы намеревались использовать батарейку с напряжением 9 В, а предложенный нам источник постоянного напряжения



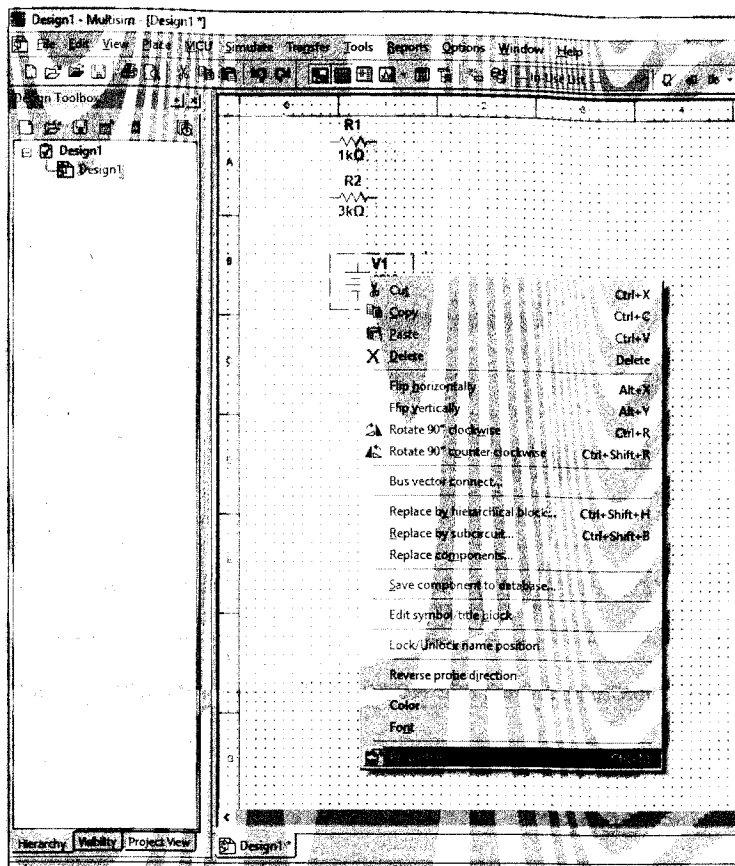
**Рис. 1.11.** Все компоненты будущей схемы выбраны

имеет 12 В. Исправим это: нажмем правой клавишей мышки на V1, выберем из выпадающего меню раздел свойств (рис. 1.12).

В этом разделе можно изменить свойства любого компонента программы Multisim. Изменим значение напряжения с 12 на 9 вольт. Для первого опыта нам понадобится еще два прибора. Их можно найти в разделе *Indicators*. Для удобства использования вольтметров и амперметров есть варианты с вертикальным и горизонтальным расположением выводов и разным подключением положительного вывода прибора.

Собрав все необходимое, можно приступить к сборке схемы. Подцепив мышкой батарейку, перенесем ее ближе к центру чертежа, рядом поместим резистор R1. Щелкнем по резистору R2 правой клавишей мышки и из выпадающего меню выберем поворот (рис. 1.13) компонента на 90 градусов (можно по часовой стрелке или против часовой стрелки).

Повернув резистор, перенесем его и оставшиеся компоненты так, чтобы можно было соединить их в схему опыта. Если мы не совсем удачно разместили все компоненты, можно обвести их, удерживая левую клавишу мышки, чтобы выделить все компоненты, чтобы затем, подцепив левой клавишей мышки, переместить все компоненты в новое место на рабочем поле.



**Рис. 1.12.** Раздел свойств в выпадающем меню

**Новичок:** Но сами компоненты еще не схема, так?

Да. Теперь нужно провести соединение всех компонентов, после чего они станут электрической цепью. Для этого подведите курсор мышки к выводу батарейки, курсор изменит свой вид, превратившись в кружок с перекрестием, щелкните левой клавишей мышки и переместите курсор к выводу резистора R1, где щелкните левой клавишей мышки повторно (**рис. 1.14**).

Эту процедуру повторите для всех компонентов, соединив их в схему первого опыта.

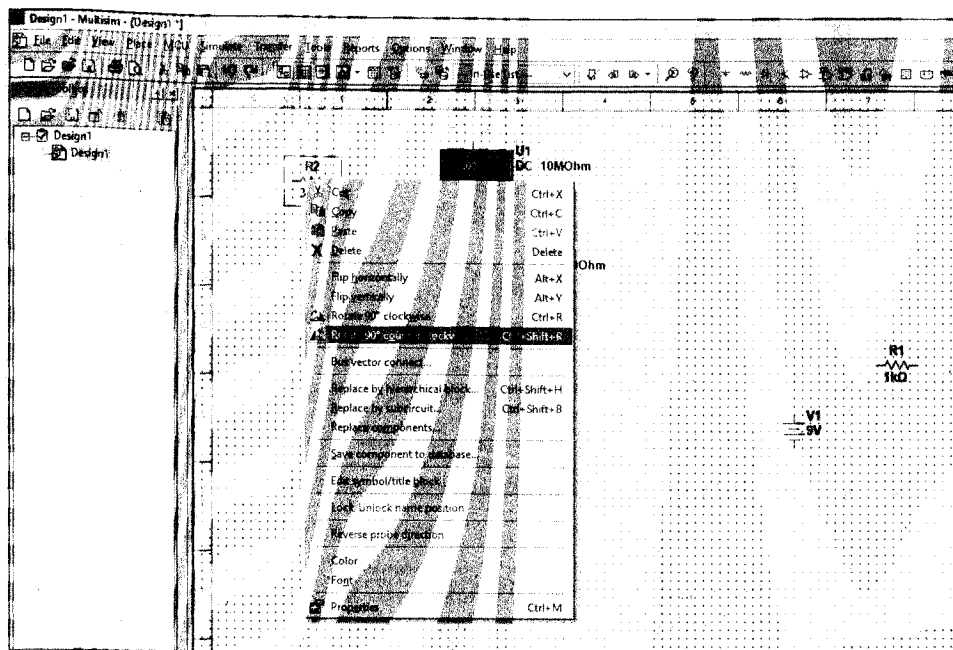
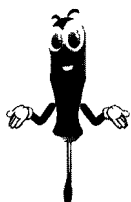


Рис. 1.13. Выпадающее меню, где можно изменить положение компонента



### СОВЕТ.

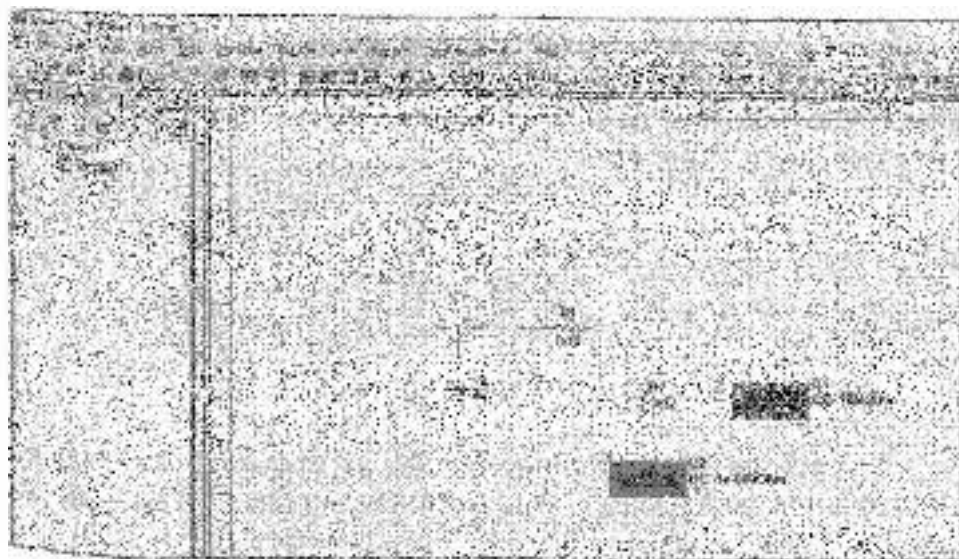
*Если провод при проведении соединения пошел не так, как вы планировали, щелкните правой клавишей мышки, прекратив процесс соединения.*

*Если при проведении соединений какой-то из компонентов оказывается не совсем на своем месте, например, его надпись попадает на провод, надпись можно выделить и переместить либо мышкой, либо использовать курсорные клавиши клавиатуры, что бывает иной раз удобнее.*

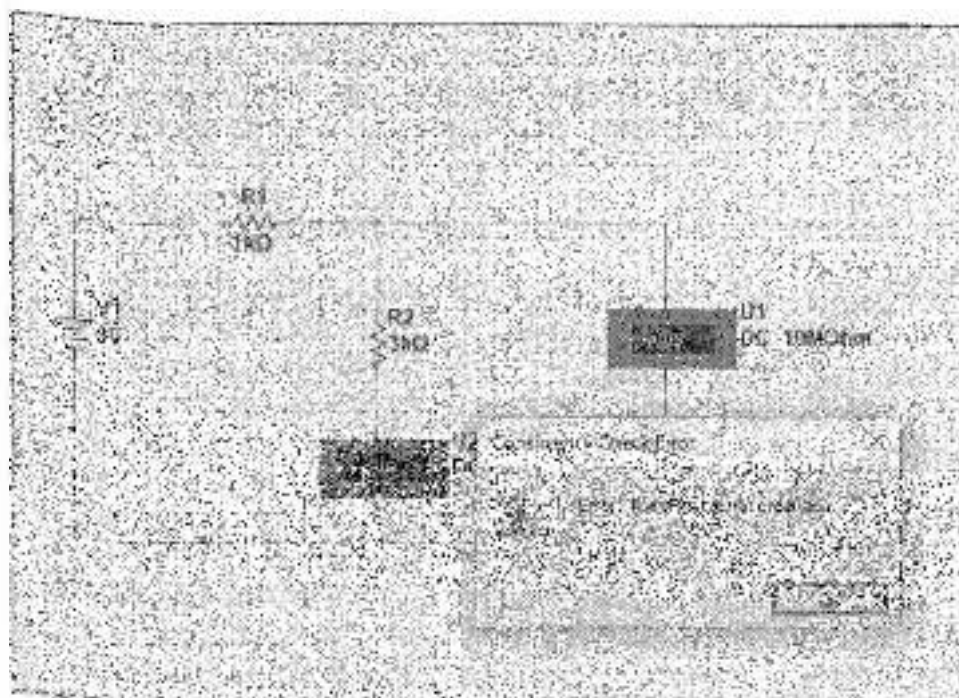
Мы соединили все компоненты. Что дальше?

**Новичок:** И это схема?





**Рис. 1.14.** Проведение соединений компонентов в схему электрической цепи



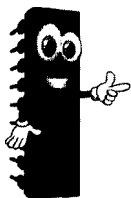
**Рис. 1.15.** Первый запуск моделирования работы схемы

Конечно. Это схема делителя напряжения. Если заглянуть в схему любого современного мультиметра или схему тестера, там точно найдется делитель напряжения. И не только там, но и в ряде других приборов.

В правой части инструментальной панели есть выключатель. Щелкнем по нему, включая моделирование схемы (рис. 1.15). Впрочем, можно использовать и основное меню, где есть пункт *Simulate* с командой *Run* в выпадающем меню.

**Новичок:** А что за сообщение на экране?

Это сообщение помощника проверки правильности соединений. У нас ошибка. Сообщение оповещает нас, что мы забыли о заземлении.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Дело в том, что все расчеты, а программа моделирования работает так, как работал бы и человек, рассчитывая все параметры цепи, все расчеты проводятся относительно опорной точки, земли.*

Поэтому землю нужно добавить к схеме по следующему алгоритму:

- ♦ кнопка с иконкой земли на инструментальной панели;
- ♦ в правом окошке GROUND;
- ♦ кнопка ОК диалога;
- ♦ добавление земли к чертежу схемы;
- ♦ кнопка Close диалога;
- ♦ проведение соединения земли и схемы.

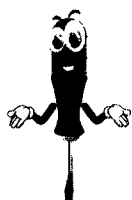
Ошибка исправлена. Можно работать со схемой.

## Программа || разводки печатной платы ||

Позже мы вернемся к рассказу о печатных платах, а пока **сохраним нашу схему**, используя:

- ♦ либо кнопку инструментальной панели с иконкой дискеты;
- ♦ либо раздел *File* основного меню.

Потребуется определить место, где будет храниться файл, и файлу нужно дать имя.



### СОВЕТ.

*Я советую хранить файлы так, чтобы в пути к файлу не было названий с кириллицей, лучше и двухсловных названий папок, и в названии файла предпочтительнее использовать латиницу.*

Если вас это не устраивает, то проверьте все эти замечания перед началом работы, чтобы не загубить какой-нибудь сложный проект.

### Новичок: Например?

Например, ваша операционная система может использовать название папки «Документы», где по умолчанию предложит хранить проект. Например, вы решите хранить проекты в разделе, где установлена программа Multisim, то есть, *Program Files*. Некоторые программы не обращают внимания на такие имена папок на пути к ним, другие перестают работать. Проверяйте.

Итак, **печатная плата**. Когда-то монтаж электрических схем выполняли на разного рода гребенках, куда припаивали резисторы, конденсаторы и т. д., а провода, подходящие к ним, собирали в жгуты. Такой монтаж был достаточно хорош, но и весьма трудоемок и дорог. Вдобавок при изготовлении возможны ошибки, процедура отыскания которых тоже не дешевая. Поэтому для массового производства придумали печатные платы.

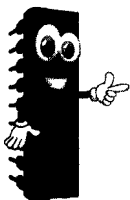
### Новичок: Их что, печатают?

Сейчас поясню. На лист изолятора, это может быть гетинакс, стеклотекстолит или другой изолятор, наклеивается тонкая медная фольга. Плата покрывается **фоторезистом**, и на нее проецируют, то есть, печатают рисунок будущей платы, потому и печатная. Плата помещается в раствор хлорида железа, в котором растворяются те места, которые не отмечены проводниками будущей платы.

После травления в плате сверлят отверстия для установки элементов схемы. Изготовив и отладив один прототип, можно перейти к недорогому массовому производству, где исключены ошибки соединений, где расстановкой компонентов могут заняться роботы, а пайку осуществляют в специальных ваннах с припоем методом, например, волны.

После пайки можно откусить излишки выводов, если они есть, или установить готовую плату в прибор, если все компоненты перед установкой были сформатированы должным образом.

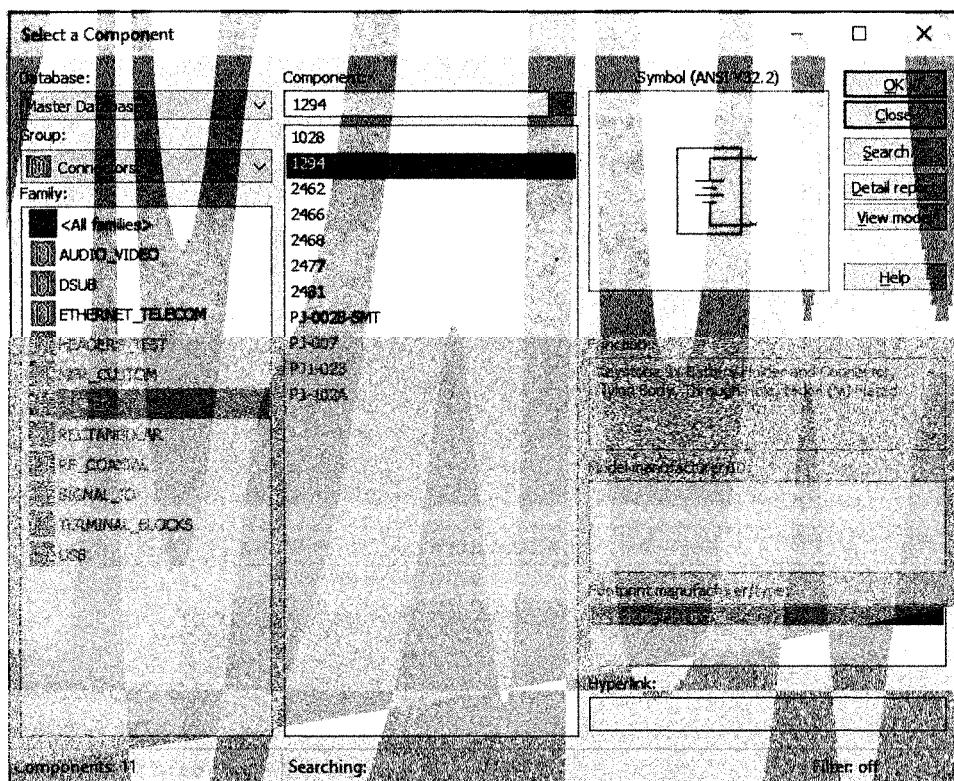
Применение печатных плат существенно уменьшило стоимость изготовления и монтажа электронных устройств.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*В последнее время всё чаще используют поверхностный монтаж. Он упрощает процесс расстановки элементов на плату, избавляет от необходимости сверлить отверстия для таких деталей как транзисторы, резисторы и конденсаторы, что еще больше удешевляет процесс изготовления печатных плат. Особенно при использовании роботов.*

С появлением печатных плат основным стал процесс создания рисунка печатной платы, над которым работают инженеры-конструкторы. Их работа требует и знаний, и опыта. Хотя



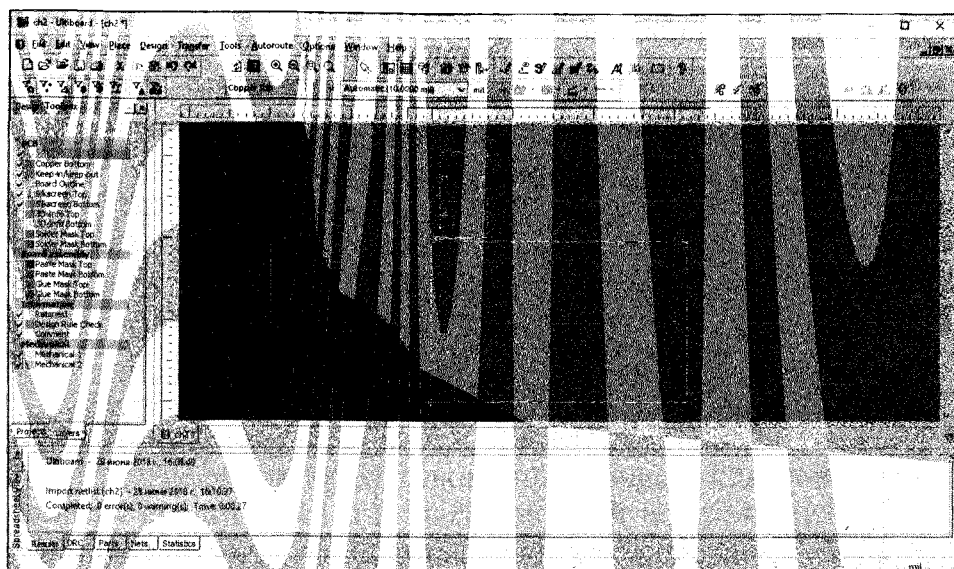
**Рис. 1.16.** Выбор посадочного места для батарейки

им очень помогают программы разводки печатных плат, не стоит этим обольщаться.

Для перехода к разводке печатной платы уберем батарейку, она не будет впаиваться в плату, уберем измерительные приборы, а для подключения батарейки добавим контакты. Чтобы удалить какие-то компоненты, достаточно выделить их и нажать клавишу **Delete** на клавиатуре.

Выбрать подключение для батарейки можно в разделе *Connectors* диалога компонентов (рис. 1.16).

Количество элементов для выбора контактных площадок для резисторов очень велико. В основном они, похоже, настроены на поверхностный монтаж, который в настоящее время является основным видом монтажа. Без выбора контактных площадок для резисторов эти элементы могут выпасть из общей схемы при переходе к разводке печатной платы.



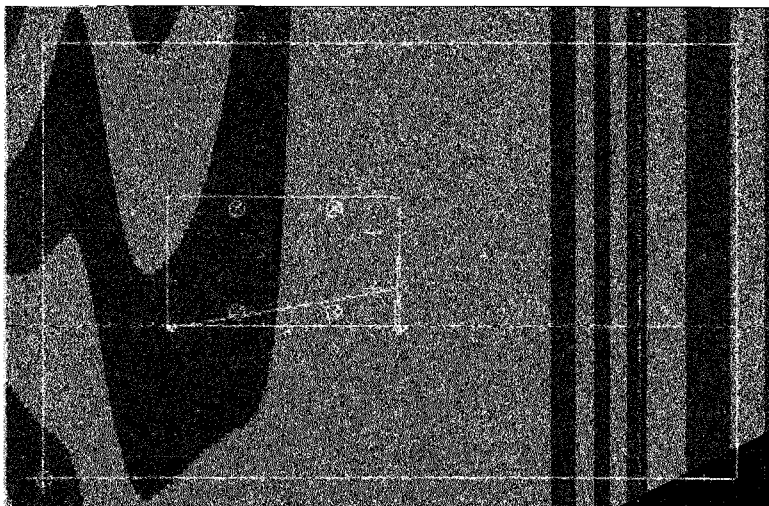
**Рис. 1.17.** Переход к программе Ultiboard

Чтобы добавить контактные площадки, можно в свойствах резисторов использовать кнопку **Edit footprint...** В открывающемся диалоговом окне выберем **Select from Database**. Новое окно диалога позволяет выбрать нужный вариант. Я использовал вариант №41 для обоих резисторов.

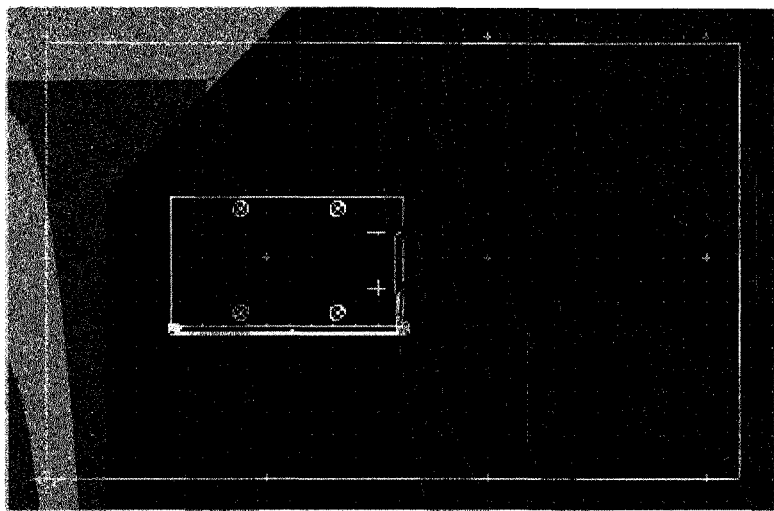
Похоже, мы готовы перейти к следующему этапу — к программе Ultiboard, которая и занимается разводкой. Для этого выбираем в основном меню пункт **Transfer→Transfer to Ultiboard**. Сохраняем список соединений, что предлагает программа, соглашаемся со списком компонентов и соединений, нажав кнопку **ОК** (пока мы не готовы спорить с помощником). В результате мы получаем плату и компоненты, которые располагаются над платой (рис. 1.17).

**Новичок:** Но я не вижу, как разведена плата. Я ошибаюсь?

Отнюдь. Мы только начали разводку. Для первого эксперимента по разводке платы я предлагаю автоматическое размещение компонентов, которое можно найти в пункте **Autoroute→Autoplace parts** основного меню программы Ultiboard.



**Рис. 1.18.** Автоматическое размещение компонентов схемы на плате



**Рис. 1.19.** Автоматическая разводка платы

С помощью этой команды мы перенесем все компоненты на плату (рис. 1.18).

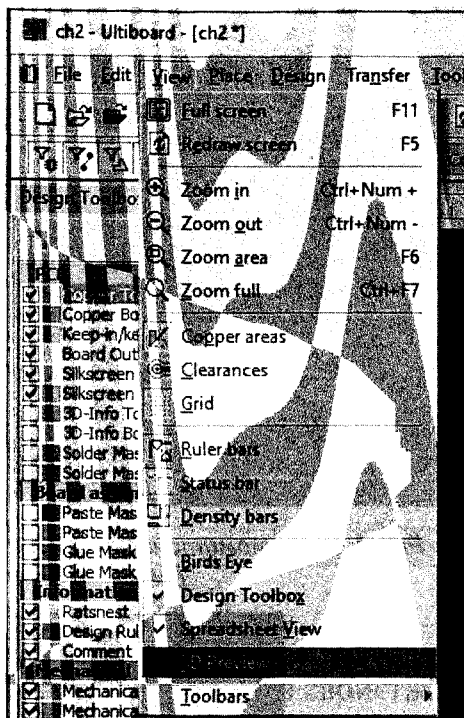
И используем автоматическую разводку платы *Autoroute*→*Start/resume autorouter* (рис. 1.19).

Со временем, когда мы научимся разводить печатные платы, мы сможем сделать больше. А пока можно посмо-

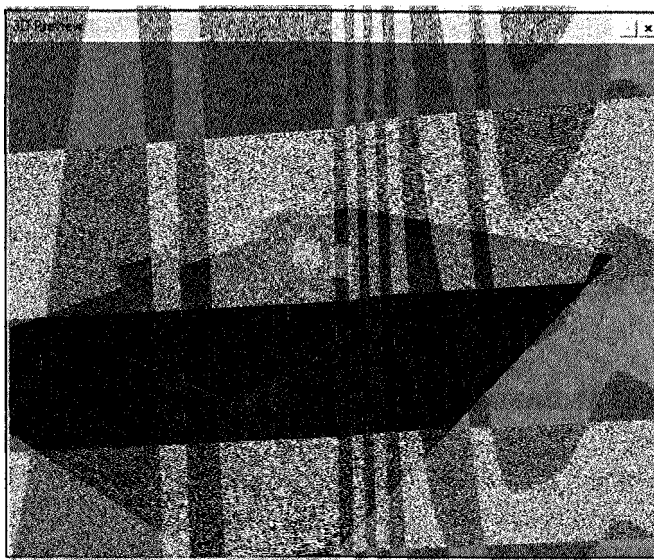
треть (рис. 1.20), как выглядит плата в трех измерениях (рис. 1.21).

Окно предварительного просмотра я увеличил за счет рабочего поля. Контактные площадки под резисторы почти не различить, они очень малы. Или что-то сделано не так. Во всем предстоит разобраться.

Я не сторонник того, чтобы любители занимались изготовлением печатных плат. Однако получить вид печатной платы, чтобы использовать его в качестве монтажной схемы, я считаю полезно.

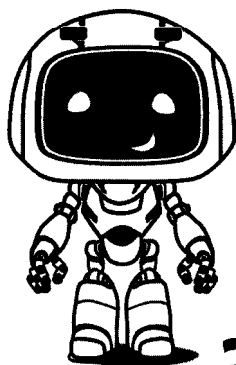


*Рис. 1.20. Выбор предварительного просмотра платы*



*Рис. 1.21. Плата в трех измерениях*



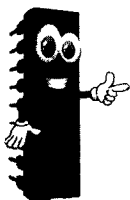


# К ЧЕМУ ПРИКОВАНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ?

## Базовые понятия

Эти цепи, несомненно, прикованы к электрическим токам, протекающим по компонентам любой схемы и к поведению этих токов.

Под **электрическим током** подразумевается направленное движение электрических зарядов. В металлах ток обусловлен движением электронов, которые могут перемещаться по объему металла, совершая хаотические перемещения, но под действием ЭДС (**электродвижущей силы**) их движение принимает направленный характер. Если величина и направление тока остаются неизменными, мы говорим о **постоянном токе**, иначе мы имеем дело с **переменным током**.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

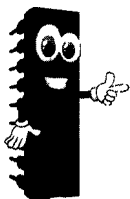
*На практике мы измеряем силу тока, определяемую количеством зарядов, проходящих через сечение проводника в единицу времени. Единица силы ток — Ампер. Используются и такие величины, как килоампер (в тысячу раз больше), миллиампер (в тысячу раз меньше), микроампер (в тысячу раз меньше миллиампера).*

Токи со сложным поведением часто называют **сигналами**. Конечно, если эти токи (их изменение) несут какую-то информацию.

**Новичок:** *Я знаю, что металлы — хорошие проводники электрического тока. Но электроны, перемещаясь по проводу, все-таки испытывают какое-то затруднение при движении? Даже под действием электродвижущей силы?*

Да! В этом случае говорят о **сопротивлении**, единицей которого в электротехнике служит Ом (часто используют в 1000 раз большую единицу килоом, и в тысячу раз большую килома — мегаом).

Пока не забыл, электродвижущую силу создает, например, батарейка (или аккумулятор, или блок питания). Ток может протекать не только в металлах, но и в электролитах, где движутся ионы.



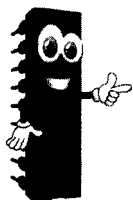
#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*За техническое направление движения электрического тока принимают движение от плюса батарейки к ее минусу.*

**Новичок:** *А в действительности?*

В действительности в электронных лампах электроны движутся от «отрицательного» катода к «положительному» аноду.

Вернемся к нашей **первой схеме (рис. 2.1)**, назовем это **опытом с током и напряжением**. Постоянный ток от плюса батарейки протекает по резистору R1, затем по резистору R2, наконец, ток протекает по амперметру и возвращается к минусу батарейки.

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

На чертежах резистор изображают либо в виде ломаной линии, либо в виде прямоугольника. Рядом с резистором ставят его обозначение  $R$  и порядковый номер. Иногда пишут значение сопротивления, но в производстве все значения компонентов и их параметры выписывают отдельно в листе спецификации.

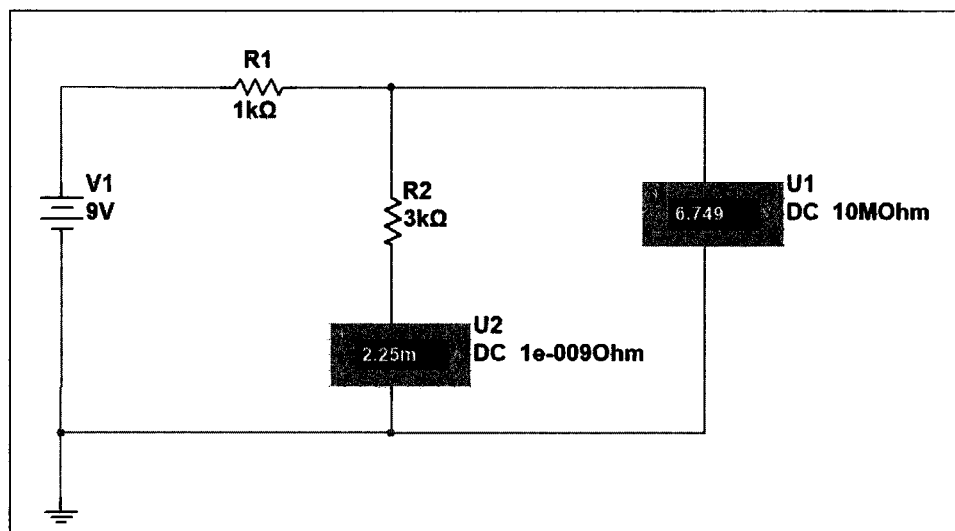
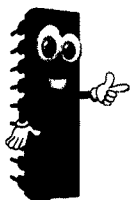


Рис. 2.1. Опыт с током и напряжением

**Новичок:** Опыт с током и напряжением, а что такое напряжение?

Протекая по сопротивлению, ток образует **падение напряжения** (или напряжение) на нем. Единицей измерения напряжения служит Вольт (приставки кило, милли, микро и т. д. применимы и в этом случае).

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

*Падение напряжения, в сущности, это энергия перемещения зарядов.*

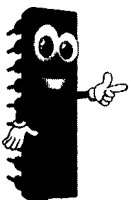
Величину тока через резистор и падение напряжения на нем связывает **закон Ома**.

**ЭТО ВАЖНО.**

*Величина тока через резистор определяется частным от деления падения напряжения на величину сопротивления.*

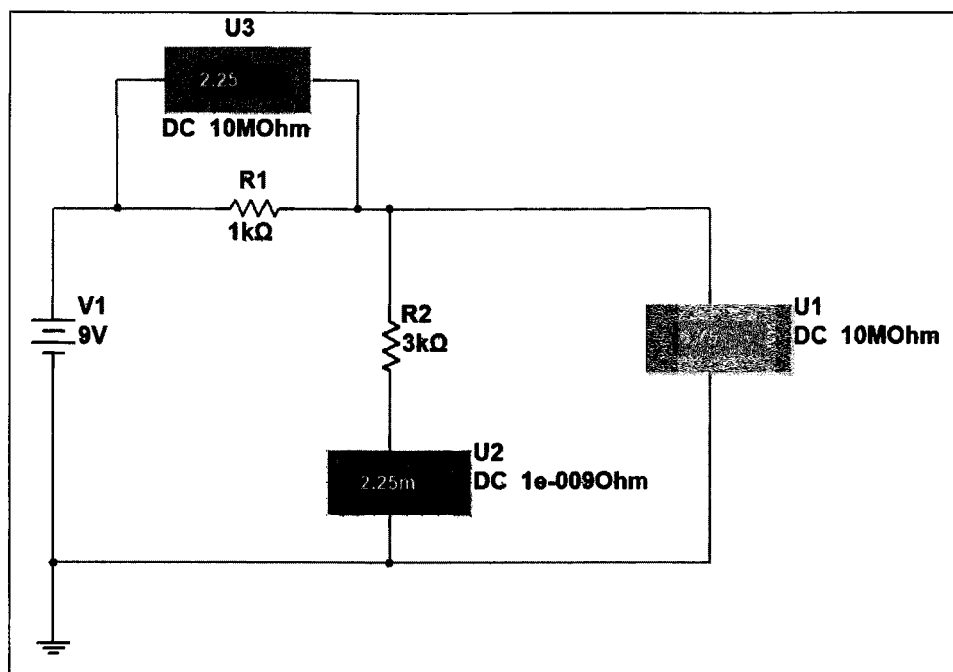
Иначе можно сказать так: сопротивление равно напряжению, деленному на ток (но это не значит, что сопротивление зависит от этого отношения).

Напряжение, которое показывает вольтметр U1, равно 6,749 вольт (единица напряжения). Ток 0,0023 ампер (единица тока) показывает амперметр U2. В этом случае мы получим сопротивление 2900 Ом. Отклонение от номинала 3% (о точности резистора мы уже говорили).

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

*Произведение тока на напряжение – это мощность (работа в единицу времени). Мощность, рассеиваемая на компонентах схемы, часто выделяется в виде тепла. Поэтому важно, чтобы эта рассеиваемая мощность не превышала допустимой величины для данного компонента.*

Подключим еще один вольтметр к резистору R1 (**рис. 2.2**). Такое подключение позволит нам говорить об одном из **законов Кирхгофа**.



**Рис. 2.2.** Измерение падений напряжения в замкнутом контуре

**Новичок:** И о чем этот закон?

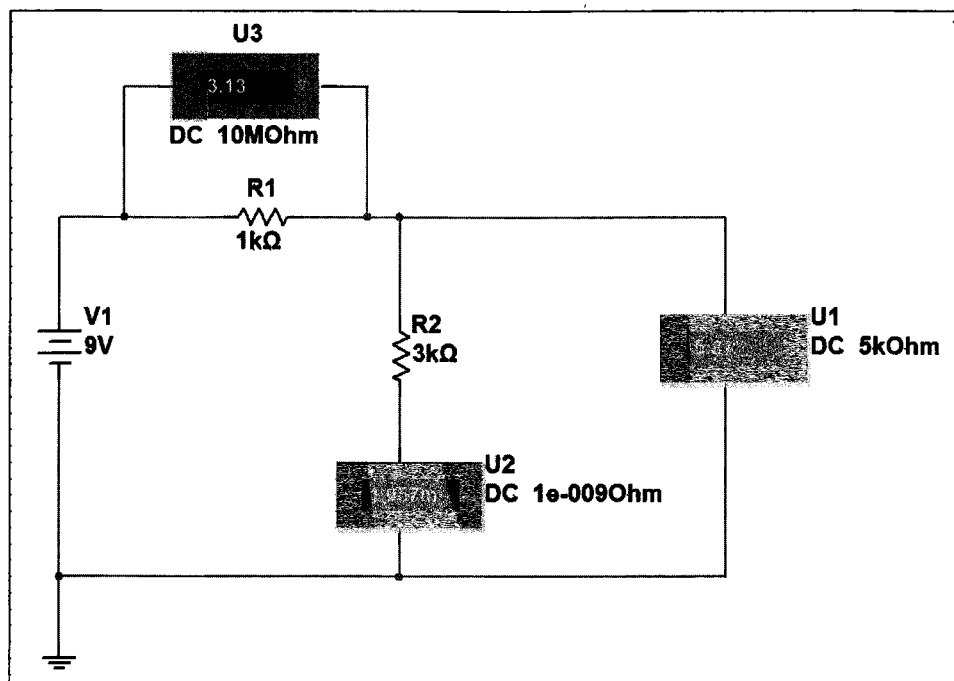
Этот закон Кирхгофа гласит, что *алгебраическая сумма падений напряжения в замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС*. В нашем случае:

$$2,25 + 6,75 = 9 \text{ (В)}.$$

Еще один закон Кирхгофа гласит, что ток в точке ветвления (на схеме такой точкой будет ветвь резистора R2 и вольтметра U1), разделяется на два, сумма которых будет равна втекающему току.

**Новичок:** Алгебраическая сумма это?..

Если в замкнутом контуре два источника ЭДС, включенных встречно, то результирующая ЭДС будет равна их разности.



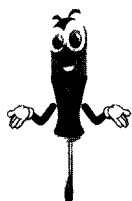
**Рис. 2.3.** Изменение параметров цепи в предыдущем примере

При обходе контура от плюса к минусу второй источник войдет в сумму со знаком минус.

Добавлю, можно, конечно, включить амперметр в ветвь вольтметра, но ток будет очень маленьким, поскольку он тем меньше, чем больше сопротивление вольтметра, а оно и так достаточно большое, 10 мегаом. Вы можете сделать так — добавить резистор R3 сопротивлением в несколько килоом параллельно резистору R2 и измерить все три тока, о которых идет речь.

Это имеет и практический смысл, можно провести такой опыт (рис. 2.3).

И ток и напряжения в цепи изменились. Причина в том, что мы не учли сопротивление вольтметра (я изменил его до 5 кОм).

**СОВЕТ.**

*На практике не следует забывать, что и вольтметр, и амперметр имеют собственное сопротивление, которое может повлиять на результаты измерений, если их не учитывать.*

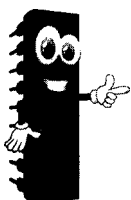
## Активное сопротивление и сопротивление реактивное

Через металлический проводник, сопротивление которого зависит от длины и сечения проводника и его удельного сопротивления, протекает ток.

**Новичок:** *А я слышал, что сопротивление проводника называют **активным**, хотя резисторы и относятся к пассивным элементам электрической цепи.*

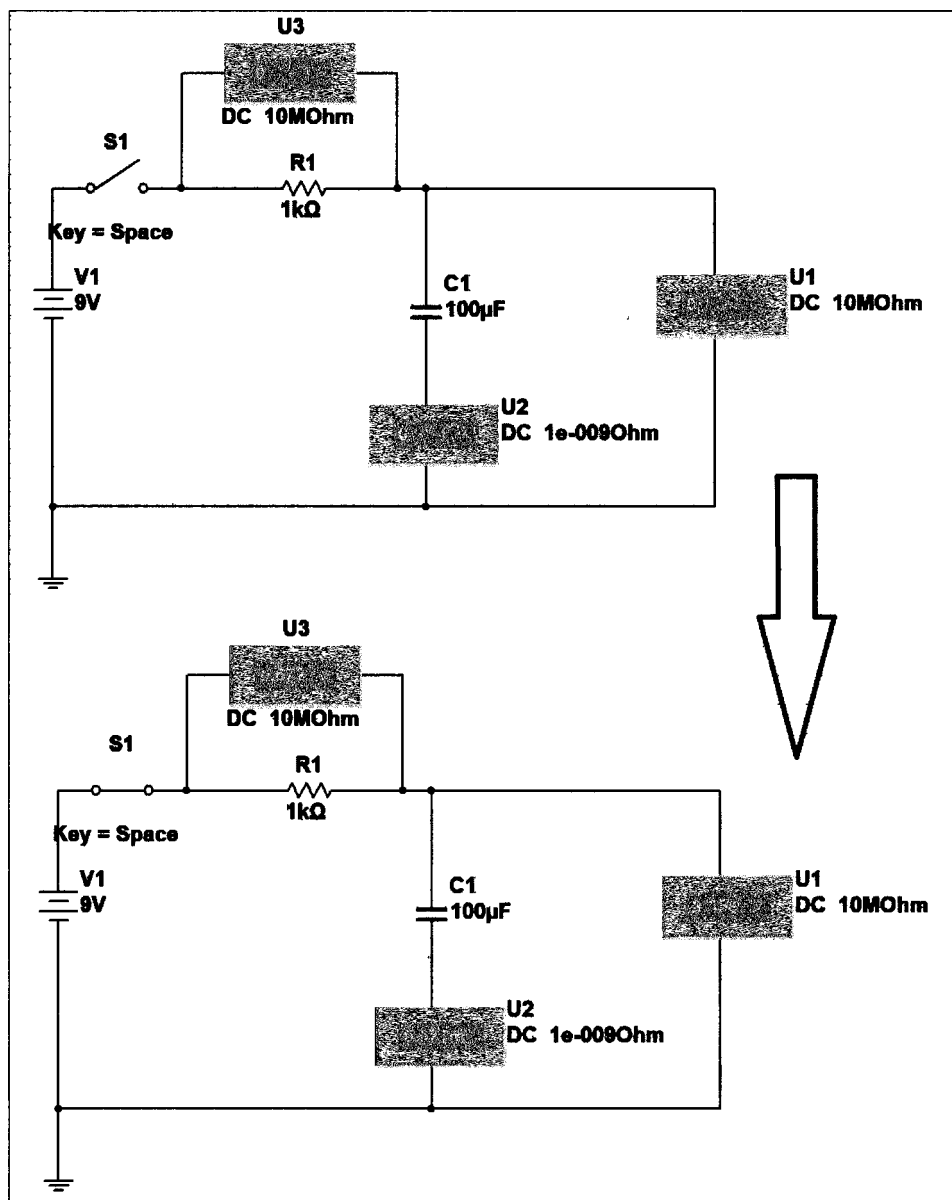
Да, получается игра слов. Конденсатор тоже пассивный элемент, представляющий собой металлические пластины, между которыми находится изолятор, постоянный ток он не пропускает из-за изолятора. Между тем, радиолюбители знают, что можно проверить электролитический конденсатор с помощью тестера. Повторим этот опыт.

Заменим в схеме **рис. 2.3** резистор R2 конденсатором с емкостью 100 микрофарад (этот компонент можно найти в базовой группе в разделе *CAPACITOR*). Добавим выключатель (группа *SWITCH*, **рис. 2.4**).

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

*На чертежах конденсатор обозначают двумя линиями с выводами и буквой С с порядковым номером. Единица емкости – Фарада. На практике*

*используют меньшие значения: микрофарада (в миллион раз меньше), нанофарада (в тысячу раз меньше микрофарады), и еще есть пикофарада.*

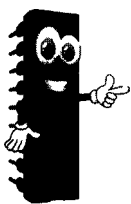


**Рис. 2.4.** Опыт с конденсатором



Когда выключатель разомкнут, ток в цепи отсутствует. Но при замыкании выключателя ток какое-то время проходит. Для замыкания можно:

- ♦ или нажать пробел на клавиатуре (обратите внимание на *Key = Space*);
- ♦ или щелкнуть левой клавишей мышки по выключателю.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*В это время мы можем определить «сопротивление» конденсатора. Оно не постоянно, оно меняется до тех пор, пока конденсатор не зарядится.*

После этого ток перестает протекать. Ток, протекающий при заряде конденсатора, отражает его реакцию на подключение ЭДС. Поэтому сопротивление конденсатора в этом случае мы назовем **реактивным**.

Ток через конденсатор протекает тогда, когда меняется напряжение на конденсаторе.

**Новичок:** *А если заменить источник постоянного напряжения источником переменного напряжения?*

Да. Этот источник (рис. 2.5) можно найти в группе *Sources*. В его свойствах (можно открыть диалог двойным щелчком левой клавиши мышки по компоненту) зададим напряжение 9 вольт и частоту синусоидального напряжения 1 кГц (или 1000 Гц). Уберем из схемы выключатель.

**Новичок:** *А у меня что-то с приборами не так...*

На рис. 2.5 и вольтметр, и амперметр изменили свое назначение. Ранее они измеряли постоянный ток, теперь измеряют переменный ток. Это меняется в свойствах приборов (рис. 2.6).

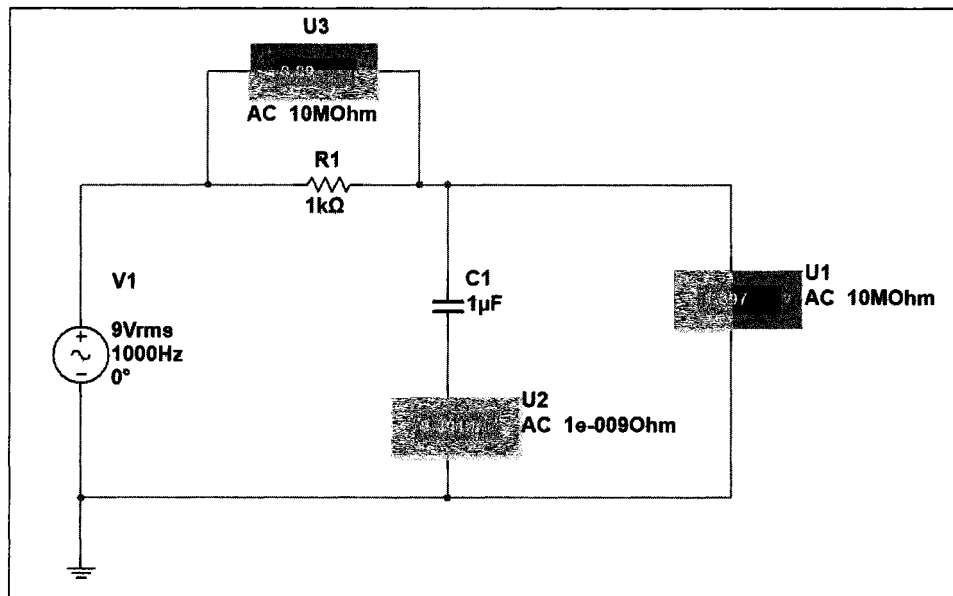


Рис. 2.5. Опыт с переменным напряжением

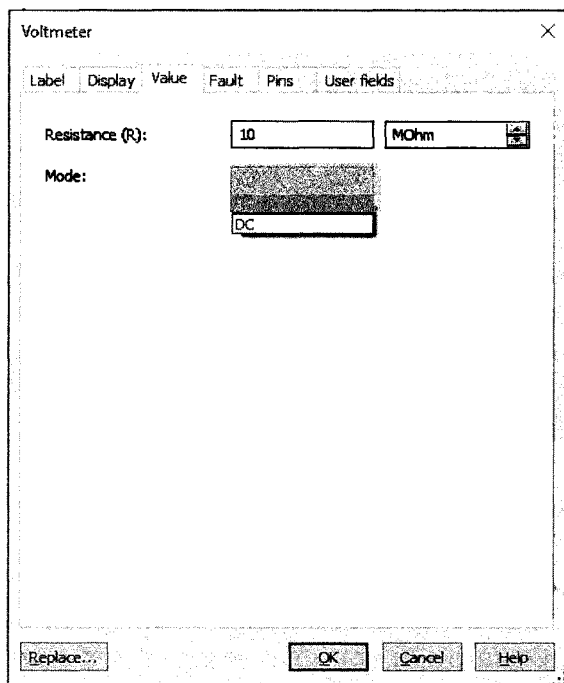
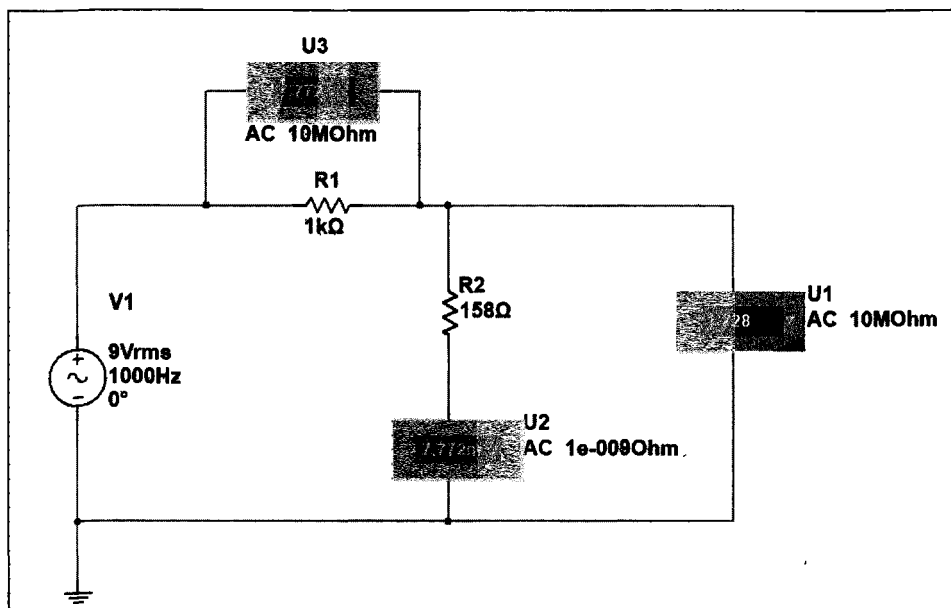


Рис. 2.6. Диалоговое окно свойств приборов



**Рис. 2.7.** Повторение опыта после замены конденсатора резистором

Теперь ток через конденсатор протекает не кратковременно, а постоянно. То есть, переменный ток конденсатор пропускает. Вспоминая закон Ома, разделим напряжение, которое показывает вольтметр, на ток, показываемый амперметром:

$$1,397 \text{ (V)} / 0,00889 \text{ (A)} = 157 \text{ (Ом)}.$$

Заменим конденсатор резистором с таким же сопротивлением и посмотрим, сильно ли изменятся ток и напряжение (рис. 2.7).

**Новичок:** Но какое напряжение показывает вольтметр, если напряжение переменное, которое все время меняется?

Вольтметр показывает действующее значение переменного напряжения.



## ЭТО ВАЖНО.

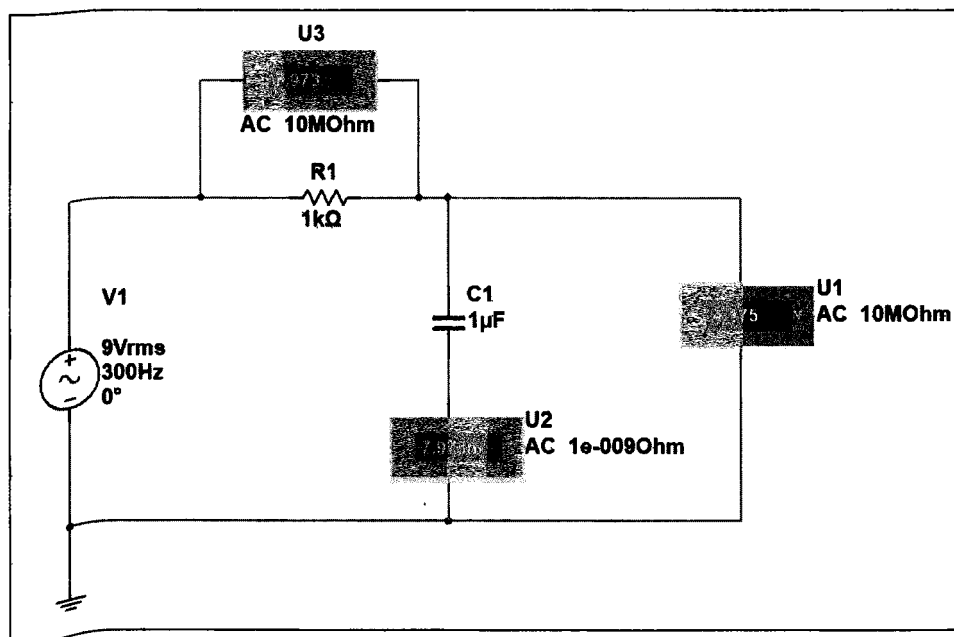
*Действующим значением переменного напряжения называют такое, которое оказывает такое же действие, что и постоянное напряжение той же величины.*

А амперметр показывает **действующее значение тока**. Проведем с конденсатором еще один опыт. Изменим в схеме на **рис. 2.5** частоту источника переменного напряжения (**рис. 2.8**).

Напряжение на конденсаторе изменилось довольно значительно. Определим сопротивление для этого случая:

$$4,17/0,0079 = 528,5 \text{ (Ом)}.$$

Сопротивление тоже изменилось существенно.

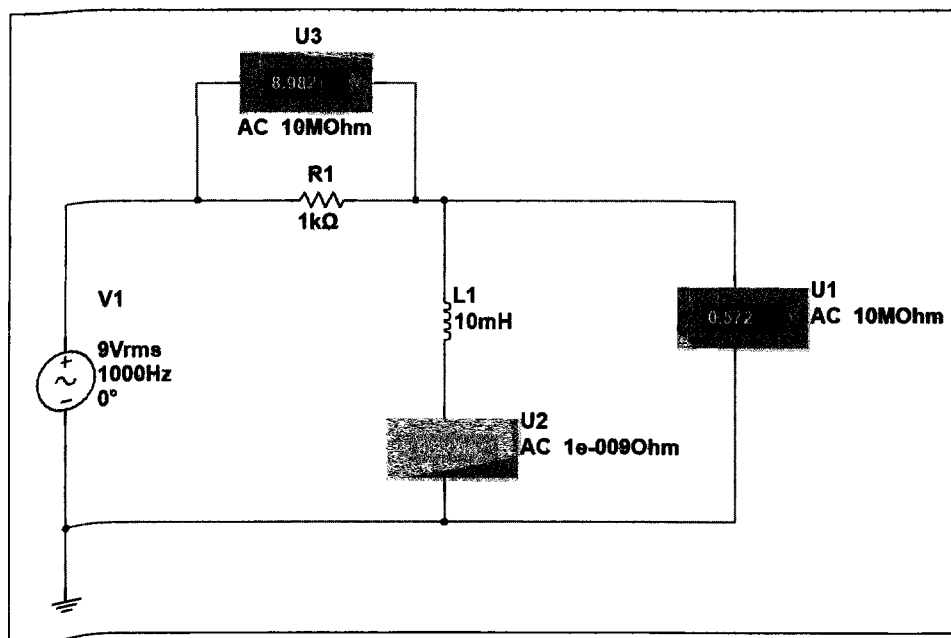


**Рис. 2.8.** Изменение частоты источника напряжения

**ЭТО ВАЖНО.**

**Реактивное сопротивление конденсатора ОБРАТНО** пропорционально емкости конденсатора и частоте источника.

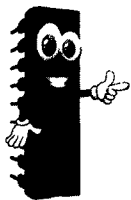
Но не только конденсатор отличается реакцией на изменяющееся напряжение. Заменяем в схеме **рис. 2.5** конденсатор C1 индуктивностью (**рис. 2.9**). Ее можно найти в группе **INDUCTOR**.



**Рис. 2.9.** Опыт с индуктивностью

**ЭТО ВАЖНО.**

**Реактивное сопротивление индуктивности ПРЯМО** пропорционально индуктивности и частоте источника напряжения.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Единица измерения индуктивности – Генри. Часто используют миллигенри и микрогенри. На чертежах индуктивность обозначают в виде катушки с обозначением  $L$  и порядковым номером.*

Но индуктивность — это и есть катушка, на которую наматывают провод. Длинный провод будет иметь активное сопротивление. Таким образом, катушка индуктивности будет иметь и активное и реактивное сопротивление. Поэтому используют понятие **полного сопротивления**, записываемого в виде комплексного числа с активной и реактивной составляющими.

## || Индуктивность и конденсатор, || индуктивность и индуктивность

На постоянном токе сложение падений напряжения давало значение ЭДС, но с конденсатором и индуктивностью это не совсем так, сказывается реактивный характер их сопротивления. А тот факт, что реактивное сопротивление конденсатора и индуктивности зависят от частоты источника, когда-то стало основанием для следующих опытов (**рис. 2.10**).

При изменении частоты источника синусоидального напряжения  $V1$  можно обнаружить частоту, на которой показания вольтметра  $U1$  будут максимальны. На этой частоте реактивное сопротивление конденсатора и индуктивности равны.

**Новичок:** А это как-то называется?

Эффект называют **параллельным резонансом**. Соединим конденсатор и индуктивность последовательно (**рис. 2.11**).

В этом случае показания вольтметра минимальные на частоте последовательного резонанса. Первый случай еще называют **резонансом токов**, а второй **резонансом напря-**

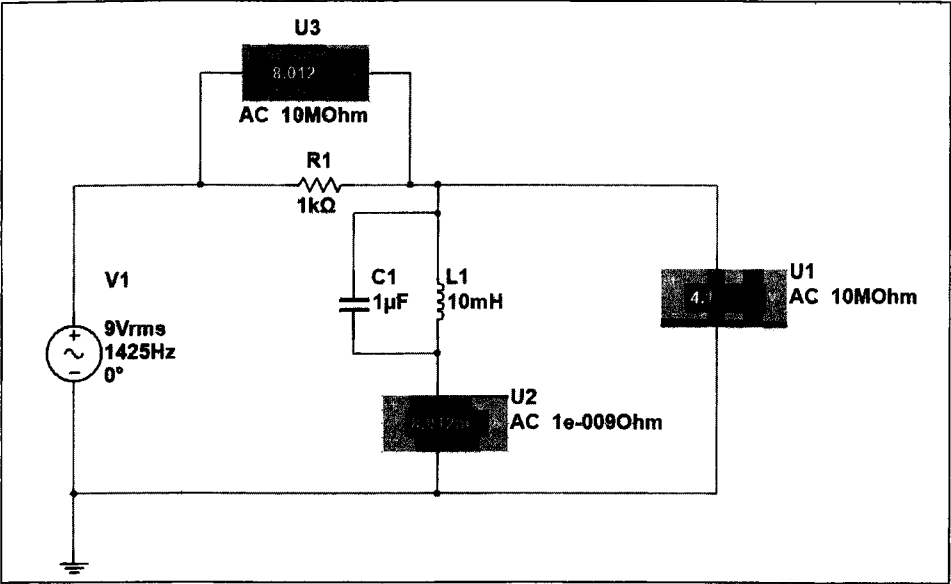


Рис. 2.10. Параллельное соединение конденсатора и индуктивности

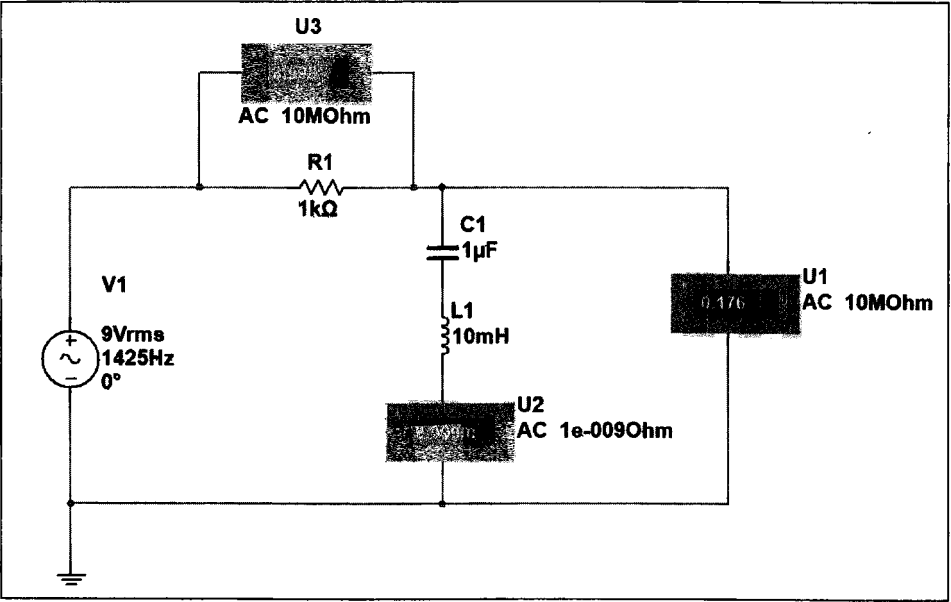
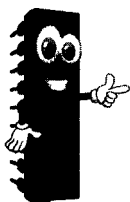


Рис. 2.11. Последовательное соединение конденсатора и индуктивности

**жений.** В первом случае сопротивление параллельно включенного конденсатора и индуктивности на частоте резонанса максимально, а во втором случае сопротивление минимально.

**Новичок:** *Хорошо, это конденсатор и индуктивность, а что про две индуктивности?*

Если поверх катушки индуктивности намотать еще одну катушку, то обнаруживается явление, которое называется **взаимоиндукцией**.

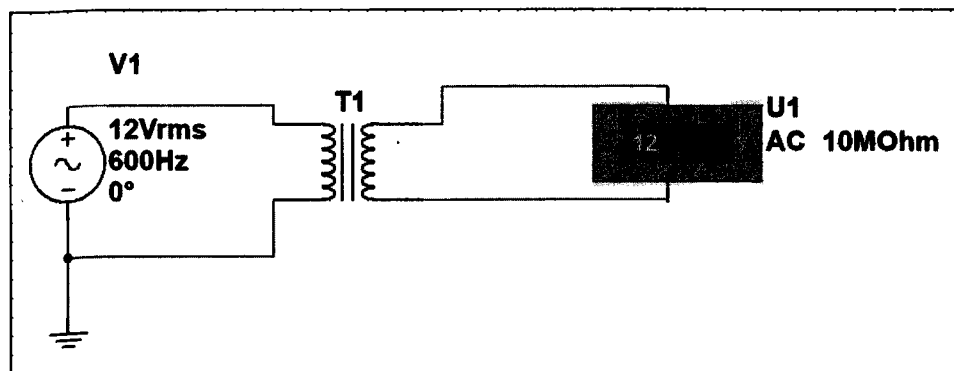


#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Связанные катушки индуктивности можно найти в группе TRANSFORMER как COUPLED\_INDUCTORS.*

Электромагнитное поле катушки индуктивности, подключенной к источнику переменного напряжения, наводит напряжение на вторую катушку (**рис. 2.12**).

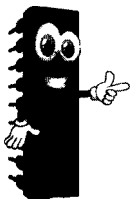
Катушку, подключенную к источнику напряжения, назовем **первичной**. Напряжение, которое передается второй катушке, зависит от отношения витков катушек и материала сердечника. От него во многом зависит передача мощности (**мощность** — произведение тока на напряжение!). Явление **взаимоиндук-**



**Рис. 2.12.** Взаимоиндукция двух катушек индуктивности



ции широко используют при создании трансформаторов. На низких частотах применяют сердечники из пластин трансформаторной стали. Трансформаторы рассчитывают, задаваясь необходимыми напряжениями и рабочей мощностью трансформатора.



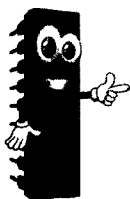
#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*При одинаковой мощности габариты трансформатора зависят от частоты источника напряжения. С ростом частоты габариты существенно уменьшаются, поэтому современные сетевые адаптеры часто делают так, что трансформатор работает на частоте значительно выше частоты силовой сети.*

## Разные переменные токи (или напряжения) ||

Чаще всего на практике приходится иметь дело с синусоидальным напряжением и прямоугольными импульсами (особенно в цифровой технике). **Синусоидальное напряжение** меняется по закону синуса, достигая некоторого максимального (и минимального) значения, которое называют **амплитудой**.

В силовой сети напряжение меняется с частотой 50 Гц (единица измерения частоты — герц, и не забудьте про приставки кило, мега и т. п.), меняется по величине по закону синуса и меняется по направлению.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Частота в 1 Гц — это одно колебание в секунду. Величина обратная частоте — это период, время одного колебания.*

Действующее значение этого напряжения в нашей стране 220 вольт. В этом случае амплитудное значение составит 310 вольт.

В радио и телевизионном вещании используют синусоидальное напряжение с частотой от сотен килогерц до тысяч мегагерц. В этих случаях синусоидальное напряжение называют несущей частотой, поскольку оно «переносит» речь или изображение. И речь, и изображение в этом случае тоже будут очень сложными переменными напряжениями, которые несут информацию, отчего их и называют сигналами.

**Новичок:** А сигналы — это только напряжения, которые несут речь или изображение?

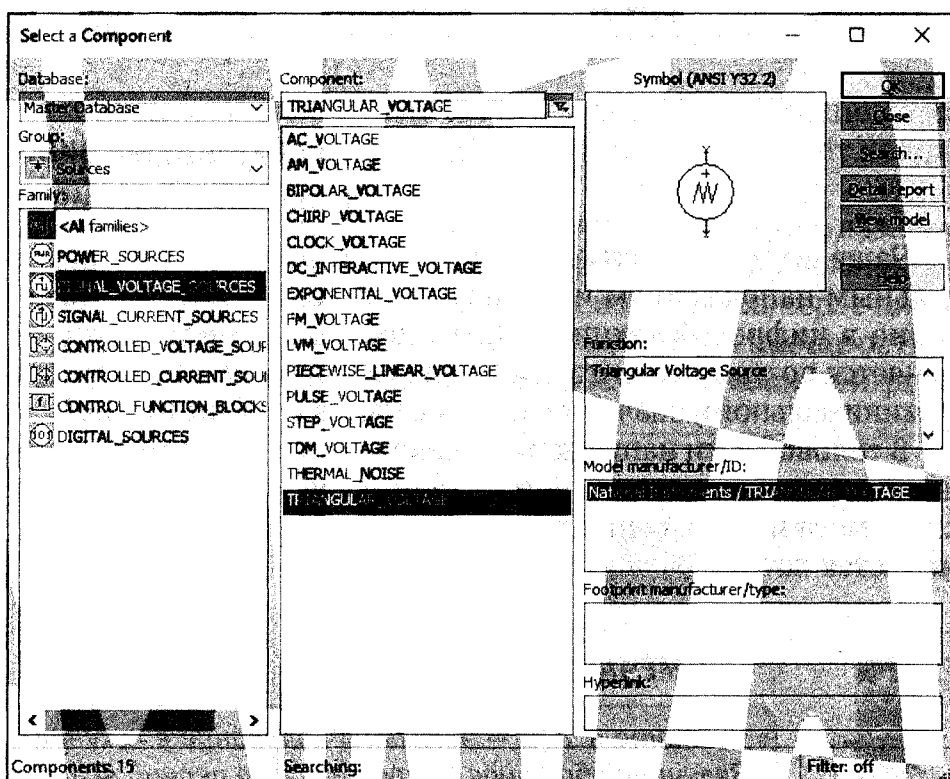


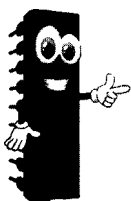
Рис. 2.13. Разные источники переменного напряжения в Multisim

Нет. Информация в широком смысле относится к разным объектам. Так пожарный датчик при срабатывании несет информацию об опасности. На практике многие переменные напряжения или токи называют сигналами. **Прямоугольные импульсы** в цифровой технике — это сигналы с амплитудой в несколько вольт, тогда как частота может меняться очень существенно, вдобавок импульсы могут быть и непериодическими.

В некоторых случаях применяют **треугольное** или **пилообразное** напряжение. Заглянув в раздел источников программы Multisim, вы обнаружите эти разновидности генераторов напряжения (рис. 2.13). В практической деятельности тоже применяют разнообразные генераторы напряжения для проверки и настройки реальных устройств.

**Новичок:** А что за подгруппа `SIGNAL_CURRENT_SOURCES`?

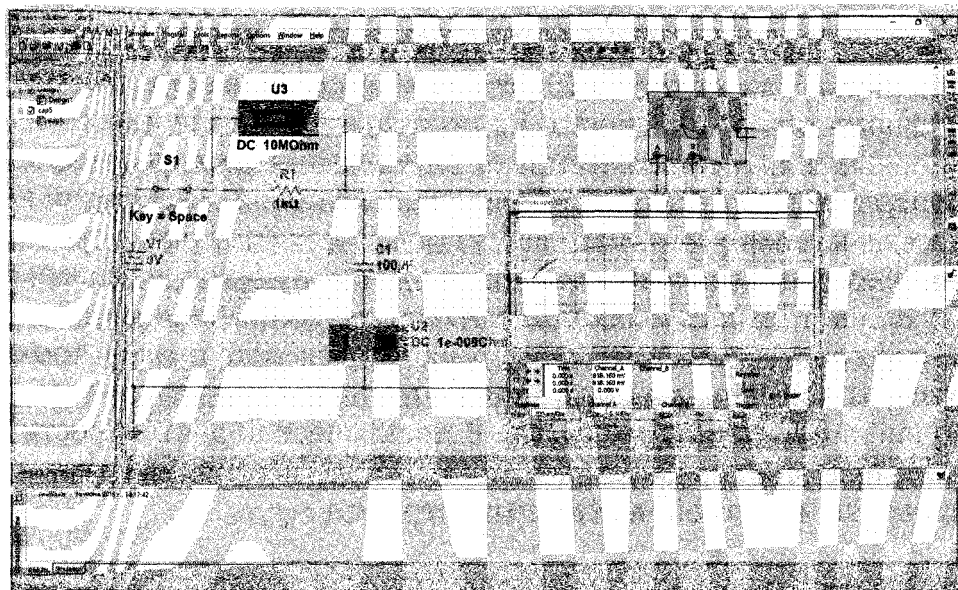
В этой подгруппе идеальные источники тока.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

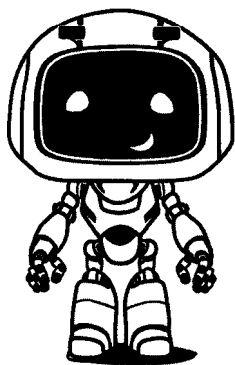
*Источники тока, а речь идет об идеальных источниках, отличаются от источников напряжения. Последние обеспечивают заданное напряжение, которое не зависит от сопротивления нагрузки. Ток через нагрузку меняется, а напряжение нет. А вот источники тока обеспечивают заданный ток, который не зависит от сопротивления нагрузки. Напряжение, генерируемое источником тока, меняется, поддерживая заданный ток в нагрузке при изменении ее сопротивления.*

Наблюдать за переменным напряжением с помощью амперметра и вольтметра можно, но это дает мало информации о характере (законе изменения) напряжения. Для этой



*Рис. 2.14. Наблюдение за зарядом конденсатора на экране осциллографа*

цели используют **осциллограф**. Повторим схему **рис. 2.4**, подключив осциллограф (**рис. 2.14**), который можно найти на инструментальной панели приборов справа.



# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ В ПРОГРАММЕ MULTISIM

## Как бракованный материал стал ведущим

Два основных материала в электротехнике, **проводники** и **изоляторы**, достаточно долго удовлетворяли все инженерные нужды. Их исследовали, изучали, совершенствовали. При этом попадались материалы, которые проводили ток значительно хуже проводников, а изолировали хуже таких изоляторов как резина. Бракованные материалы.

К тому времени появились электронные лампы, давшие толчок к развитию электроники.

И тогда же физики стали лучше разбираться в строении материалов. Выяснилось, что забракованные ранее материалы, их называли **полупроводниками**, имеют два типа проводимости. Один имел небольшое, если сравнивать их с металлами, количество электронов, перемещающихся по всему объему материала (их называли **полупроводником типа n**), а другие имели атомы, на внутренних уровнях которых могли осесть электроны (**полупроводники типа p**).

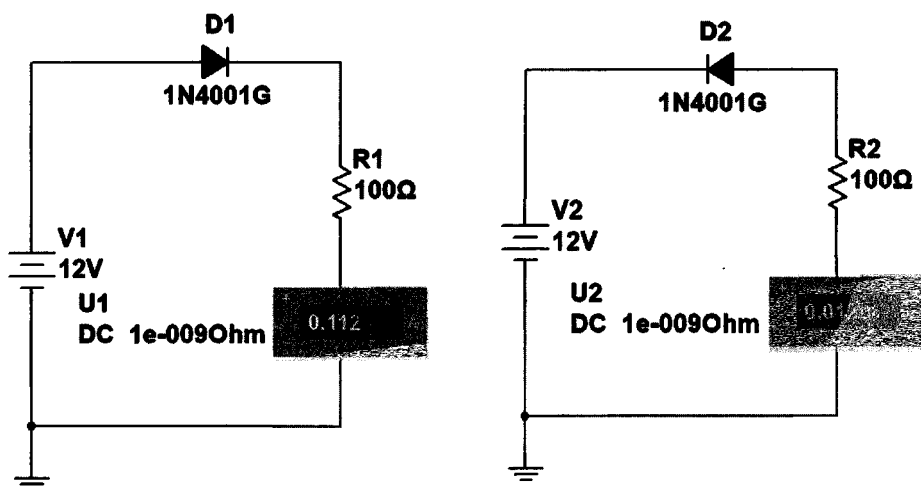
### Новичок: И что это значит?

Это значит революцию в электронике. Когда получилось соединить два типа полупроводниковых материалов вместе, появился первый полупроводниковый прибор.

Электроны из материала типа *n* перемещаются в полупроводник типа *p*. При этом в первом материале остаются положительно заряженные атомы, а во втором материале появляются отрицательно заряженные атомы. Все это происходит на границе раздела двух материалов. И граница раздела напоминает заряженный конденсатор, где электрическое поле препятствует дальнейшему перемещению электронов.

**Новичок:** *Получается, что при подключении к такому «полупроводниковому бутерброду» источника тока, ток через него протекает при одной полярности напряжения и не протекает при обратной.*

Правильно! Созданная конструкция ведет себя аналогично двухэлектродной лампе, диоду. Поэтому и полученную конструкцию называли полупроводниковым диодом (рис. 3.1).



**Рис. 3.1.** Реакция полупроводникового диода на изменение полярности источника ЭДС

**СОВЕТ.**

*Полезно использовать сетку рабочего поля чертежа. Она помогает размещать компоненты схемы. Но ее можно отключить в диалоге свойств страницы: щелчком правой клавиши мышки вызывается выпадающее меню с разделом *Properties*. Показать или скрыть сетку можно с помощью основного меню, пункт *View*, раздел управления сеткой *Grid*.*

Диод можно найти в компонентах программы, воспользовавшись кнопкой с иконкой диода на основной инструментальной панели.

**Новичок:** *А для этого опыта с диодом пришлось два раза рисовать одно и то же?*

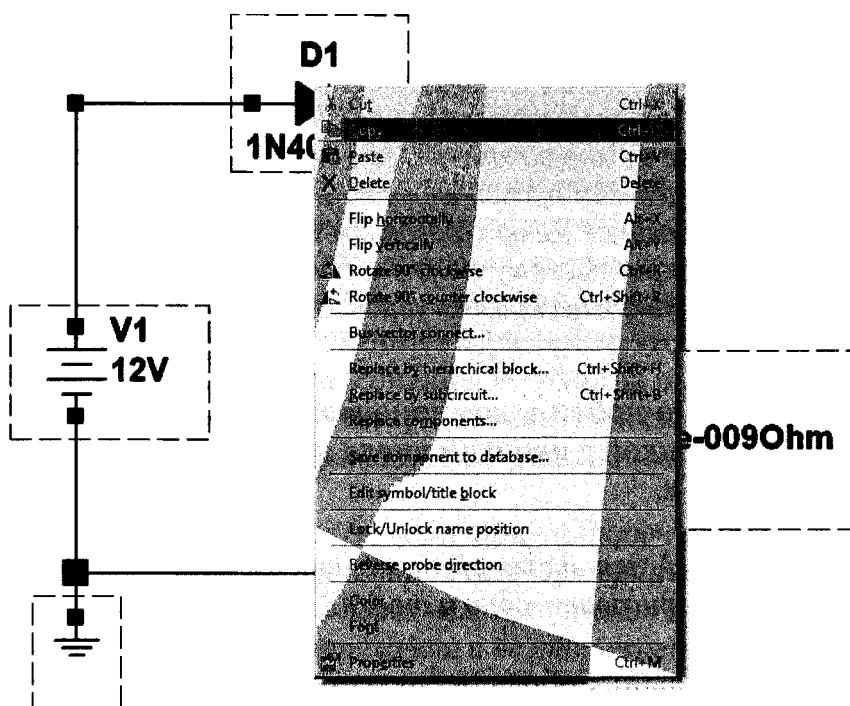
Не обязательно. Собрав первую схему в рабочем поле чертежа, можно обвести ее курсором мышки, удерживая левую клавишу, для выделения всех компонентов. Затем можно щелкнуть по любому из выделенных компонентов правой клавишей мышки, чтобы выбрать из выпадающего меню *Copy* (рис. 3.2).

Переместив курсор мышки на свободное место чертежа, нажав еще раз правую клавишу мышки, выберите *Paste* для вставки схемы. Теперь можно удалить проводники возле диода и использовать в выпадающем меню (правая кнопка мышки по выделенному диоду) отражение диода (*Flip horizontally*), чтобы изменить его направление.

Сравнивая работу двух схем, можно сказать (конечно, моделирование должно быть включено), что при прямом включении батарейки в цепи протекает ток 112 мА, а при обратном включении ток практически не протекает.

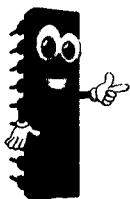
Это результат работы электрического поля источника ЭДС:

- ♦ в первом случае поле источника ослабляет электрическое поле на границе раздела, открывая путь электронам;
- ♦ во втором случае поле на границе раздела усиливается.



*Рис. 3.2. Выделение схемы для копирования*

После создания полупроводникового диода, производители задумались о трехслойной конструкции. Из двух типов материала можно образовать две структуры: **n-p-n** и **p-n-p**. Подобные структуры с тремя электродами работала почти так же, как трехэлектродная электронная лампа. Такой электронный компонент назвали **транзистором**.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Три электрода транзистора получили названия эмиттер, база, коллектор.*

Позже его стали называть **биполярным транзистором**, поскольку при иной конструкции из этих материалов удалось создать новый, **полевой (или канальный) транзистор**.



## Транзистор

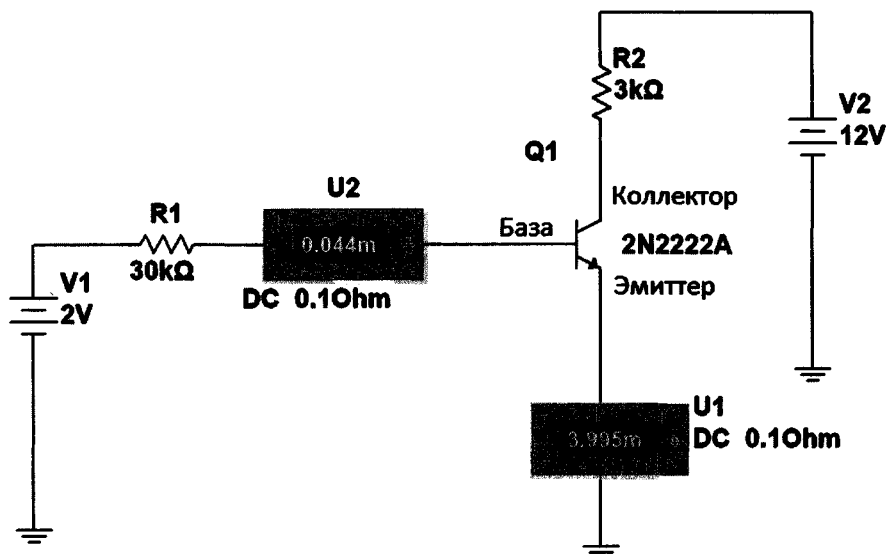
Проведем эксперимент подобный тому, что изображен на **рис. 3.1**. Для работы биполярного транзистора необходимы два источника питания. Когда в базовой цепи транзистора протекает ток, протекает ток и между эмиттером и коллектором (**рис. 3.3**).

Между током коллектора и током базы, когда транзистор работает в линейном режиме, существует простое соотношение:

$$I_k = B \cdot I_b,$$

где  $B$  — это просто число, показывающее во сколько раз ток коллектора больше тока базы.

Если ток базы увеличивается, то растет и ток коллектора, ток базы уменьшается, уменьшается ток коллектора. То есть, ток коллектора повторяет изменения тока базы. Иными словами, транзистор усиливает сигнал, приложенный к базе (ток коллектора повторяет закон изменения тока базы).



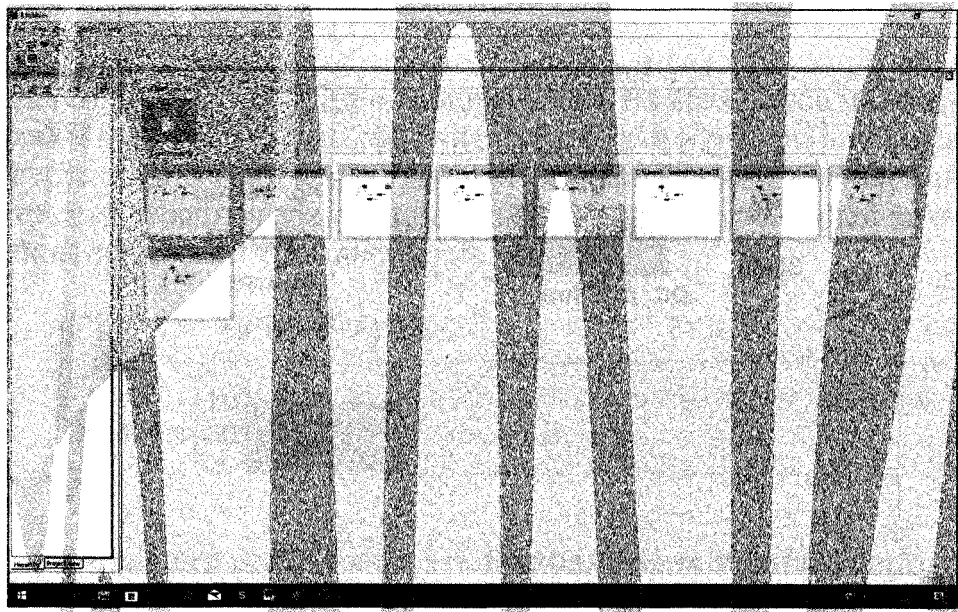
**Рис. 3.3.** Опыт с биполярным *п-р-п* транзистором

**Новичок:** *А можно заменить транзистор  $n$ - $p$ - $n$  транзистором  $p$ - $n$ - $p$ ?*

Нет, но у транзистора структуры  $p$ - $n$ - $p$  дела обстоят похожим образом, только полярность источников питания меняется на обратную. И еще, мы говорили о **линейном режиме** работы транзистора. Это означает, что транзистор усиливает сигнал, подводимый к базе, не искажая закон изменения базового тока.

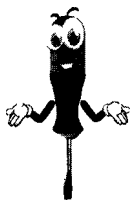
**Новичок:** *А у полевого транзистора все так же?*

Да, но полевой транзистор конструктивно устроен иначе. Закроем наш проект, чтобы обсудить другие вопросы работы с программой. Кстати, если при работе с программой Multisim закрыть все рабочие проекты, то вам будет предложен выбор: открыть уже существующие проекты или создать новый проект (рис. 3.4).



**Рис. 3.4.** Окно программы Multisim после закрытия всех файлов

## Параметры диодов и транзисторов, || важные для начинающих ||



### СОВЕТ.

*Касательно диодов. Начинающим следует проверить допустимый ток через диод и допустимое обратное напряжение. При превышении тока (среднего за период для переменного напряжения) сверх допустимого значения диод просто перегорит как предохранитель.*

И с допустимым обратным напряжением похожая история. Дело в том, что по достижении некоторого значения обратного напряжения ток через диод начинает лавинообразно нарастать, что выводит диод из строя. Однако, изучая это явление, инженеры нашли и ему применение, когда научились так создавать диоды, что это обратное напряжение пробоя стало возможно менять «по заказу».

Получился новый полупроводниковый прибор — **стабилитрон** (или диод Зенера). При соединении последовательно с обратно включенным стабилитроном резистора напряжение на диоде сохраняет свое значение при изменении напряжения источника в широких пределах (рис. 3.5).

**Новичок:** *А где в Multisim стабилитроны? Я не нашел.*

Стабилитрон в программе Multisim можно найти в группе **ZENER**. Не менее важно и для стабилитрона, и для диода (как и для резистора) проверить рассеиваемую на них **мощность**. В справочнике обычно указывают допустимую мощность рассеивания для всех полупроводниковых приборов.

**Новичок:** *Это я знаю! Этот параметр определяет, нужно или нет использовать **теплоотвод**. А для резистора определяет, какой мощности, а резисторы выпускают с разной допустимой мощностью рассеивания, резистор следует использовать.*

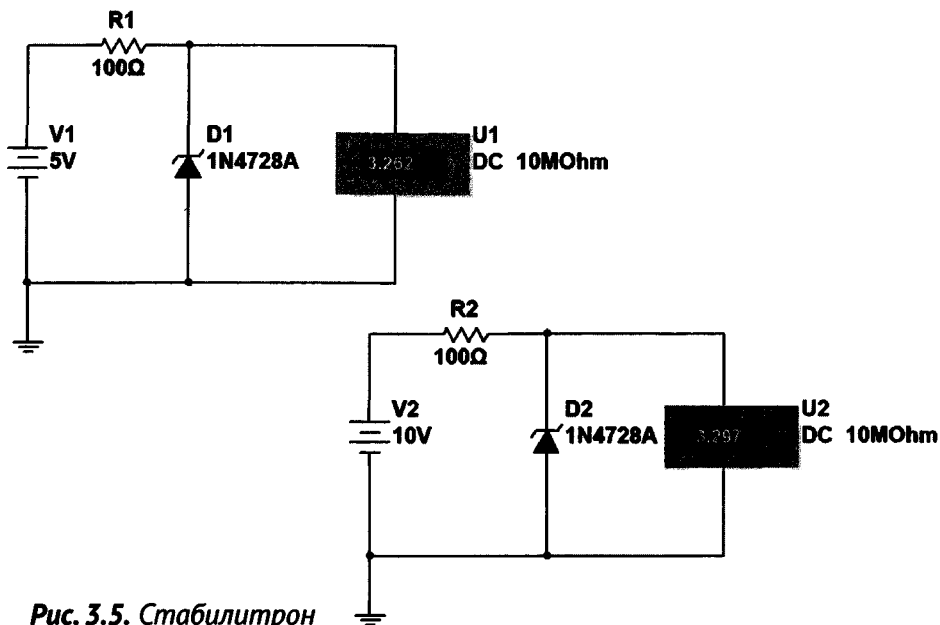


Рис. 3.5. Стабилизатор

В программе Multisim есть прибор для измерения мощности, **ваттметр**. Он находится на инструментальной панели приборов. Ваттметр включает свойства и вольтметра, измеряя напряжение, и амперметра, но показывает на дисплее их произведение (рис. 3.6).

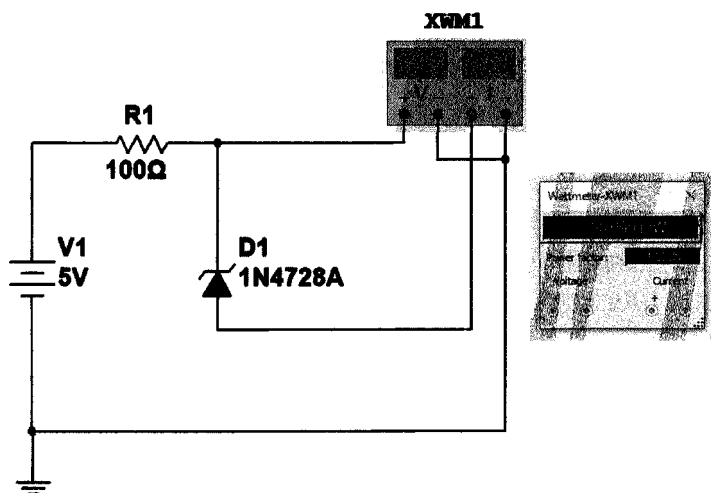
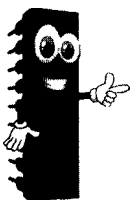


Рис. 3.6. Измерение мощности, рассеиваемой на стабилитроне

Полупроводники весьма чувствительны к температуре. Если резистор меняет свое сопротивление при изменении температуры, то это изменение относительно невелико. А полупроводники существенно меняют свои свойства при изменении температуры. Это свойство полупроводников тоже используют.



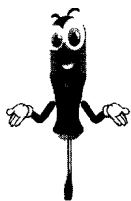
### ОПРЕДЕЛЕНИЕ.

*Резистор, изготовленный из полупроводника, называют терморезистором или термистором.*

**Новичок:** *И зачем нужны такие резисторы?*

С их помощью можно измерять температуру, а можно использовать их свойства для регулировки параметров схемы.

**Мощность**, рассеиваемую на транзисторе, обязательно проверяют (рассчитывают или измеряют), особенно это касается выходных каскадов усилителя.

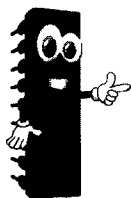


### СОВЕТ.

*Чтобы избежать перегрева транзистора его следует устанавливать на радиатор или применять вентилятор (кулер) для охлаждения.*

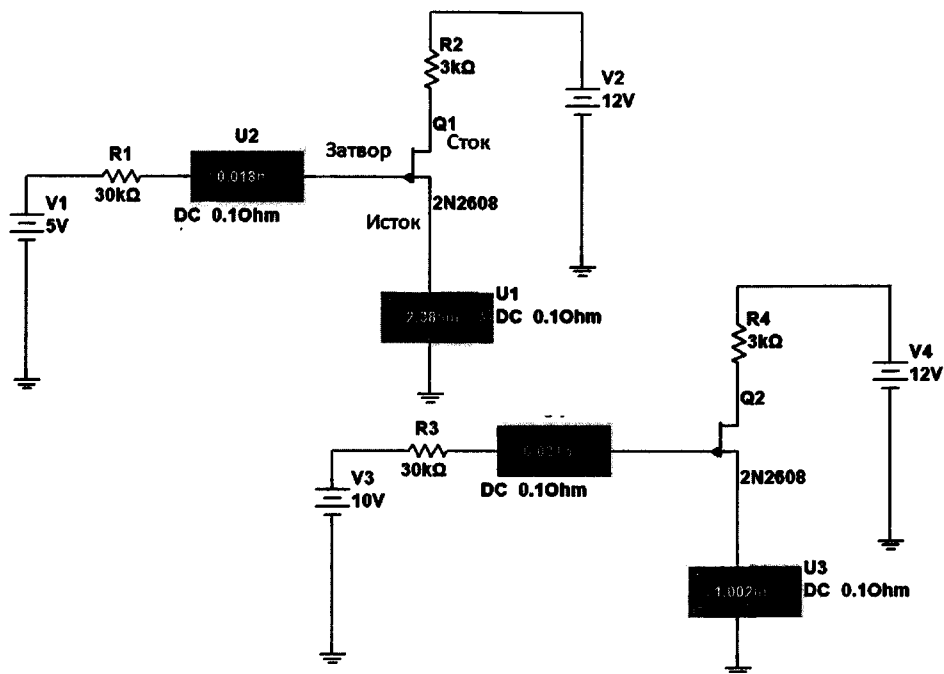
При выборе транзистора проверяют:

- ♦ допустимый ток коллектора;
- ♦ допустимое напряжение на коллекторе;
- ♦ допустимую рассеиваемую мощность.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Есть еще один параметр важный для диодов и транзисторов, но о нем позже.*



*Рис. 3.7. Работа полевого транзистора в программе Multisim*

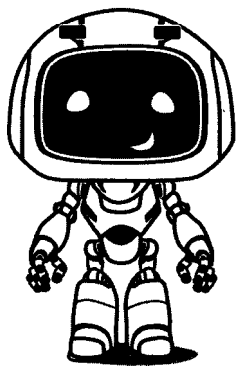
**Полевые транзисторы** работают так, что ток от истока к стоку управляется напряжением на затворе (рис. 3.7).

Можно видеть, что ток между затвором и истоком практически отсутствует. Как и биполярные транзисторы полевые могут быть разного типа, и они могут иметь разную конструкцию: полевые транзисторы выпускают еще и с изолированным затвором, уменьшая и без того небольшой ток затвора.

**Новичок:** В итоге полевой транзистор оказывается очень похожим на трехэлектродную лампу — **триод**.

Согласен. А увеличивая количество слоев полупроводника, можно получить и **новые электронные приборы**: динисторы; тиристоры; триаки.

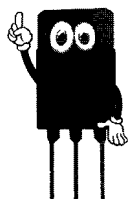
Переход диода при освещении превращает диод в **фотодиод**. А при пропускании тока через диод переход может излучать свет, так работает **светодиод**. И это еще не все применения забракованного некогда материала.



# ЧТО МОЖНО ПРИГОТОВИТЬ ИЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВ, И КАКИЕ НУЖНЫ «СПЕЦИИ»?

## Усилитель || с общим эмиттером

Свойство биполярного транзистора усиливать сигнал, приложенный к базе, широко применяется в электронике. Мы провели опыт с усилением базового тока, но посмотрим, что происходит с напряжением на коллекторе.



### ЭТО ВАЖНО.

*Повторю, что изменения **базового тока** вызывают изменения **коллекторного тока**. При этом в линейном режиме работы транзистора закон изменения базового тока повторяется коллекторным током.*

**Линейный режим работы** транзистора для симметричных сигналов определяется тем, что напряжение на коллекторе устанавливают равным половине напряжения питания.

### Новичок: И нужны батарейки для базы и коллектора?

Два источника питания транзистора применяют очень редко. Чтобы получить ток базы, достаточно одного резистора. Вот схема, которую называют схемой с общим эмиттером (рис. 4.1).

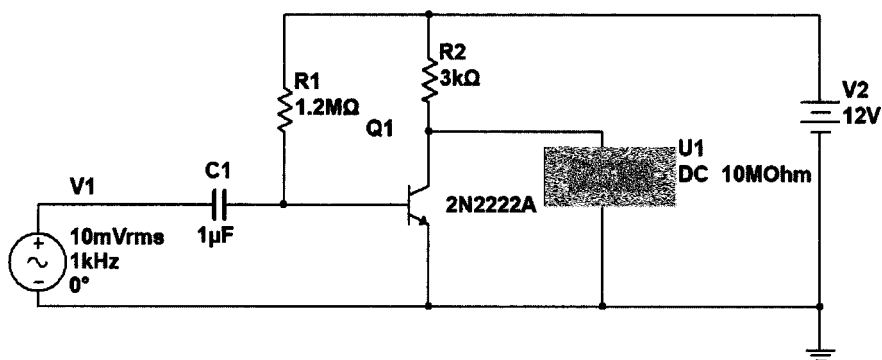
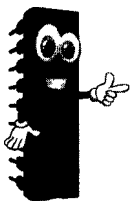


Рис. 4.1. Настройка рабочей точки транзистора

**Настройка усилителя по постоянному току (выбор рабочей точки)** определяется в данной простейшей схеме величиной резистора R1. Ориентировочный расчет при выбранном резисторе нагрузки транзистора R2 выглядит простым.



#### ПРАВИЛО.

*Чтобы напряжение на коллекторе транзистора было равно половине напряжения питания V2, сопротивление эмиттер-коллектор в рабочей точке должно быть равно сопротивлению R2. Получается делитель напряжения.*

В этом случае ток коллектора получится делением напряжения V2 на удвоенное сопротивление R2.



**Новичок:** Я сейчас пролистал назад к третьей главе: ток коллектора связан с током базы коэффициентом  $B$ . Если его знать, то мы узнаем ток базы?

Да, коэффициент  $B$  называют статическим коэффициентом усиления по току в схеме с общим эмиттером. Его можно взять из справочника или измерить с помощью мультиметра.

Но ток базы протекает через резистор  $R1$ , напряжение на котором равно напряжению питания за вычетом 0,5–0,7 В. Разделив это напряжение на ток базы, мы получим значение сопротивления  $R1$ .

Мы использовали при расчете только закон Ома.

Чтобы проверить работу усилителя на транзисторе, подключим источник синусоидального сигнала и используем осциллограф для наблюдения и измерения (рис. 4.2).

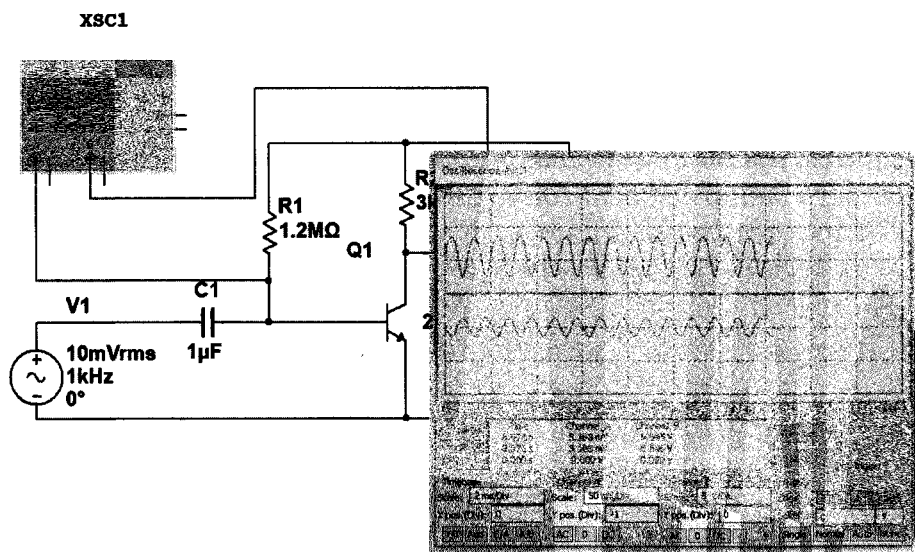
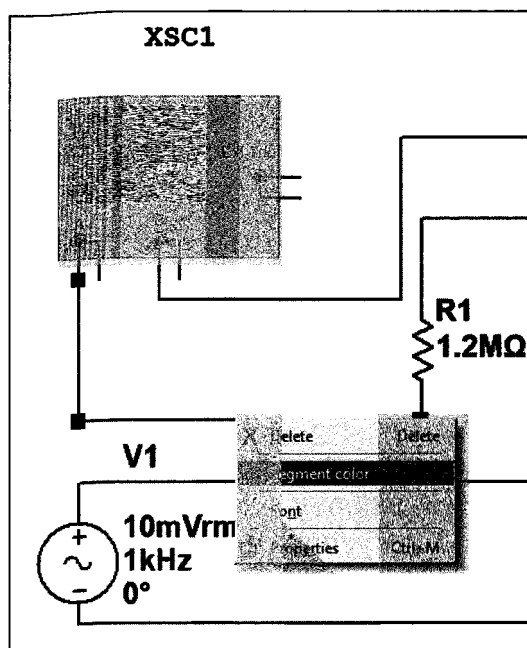


Рис. 4.2. Проверка простого транзисторного усилителя

**Новичок:** Мы наблюдаем за входным и выходным напряжением, но как их различить?

Правильно, создадим больше удобства в работе. Изменим цвет одного из сигналов. Для этого выделим линию канала А,



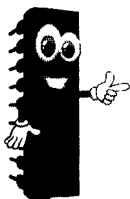
**Рис. 4.3.** Выпадающее меню свойств проводников схемы

щелчком правой клавишей мышки по ней, и выберем из выпадающего меню *Segment color* (рис. 4.3).

В представленной цветовой палитре выберем новый цвет, и теперь нам будет легче отличить входной сигнал от выходного (рис. 4.4).

Нижний график — это входной сигнал, верхний — выходной. Отношение амплитуд сигналов даст нам значение усиления по напряжению, что нас и интересует. Входной сигнал приблизительно половина деления, а выходной сигнал около одного деления. Поэтому, с учетом чувствительности каналов (окошки под *Channel A* и *Channel B*):

$$5/0,025 = 200.$$



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

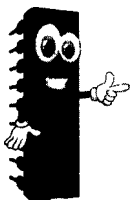
По умолчанию фон экрана черный, чтобы получить белый фон используйте кнопку *Reverse* на панели управления виртуального осциллографа.



можно использовать курсоры (основное меню графики, *Cursor*), окно обработки данных курсора покажет более точные данные (рис. 4.5).

## || Параметры каскада усиления

Рассказ о каскаде усиления начинался с выбора рабочей точки, правильный выбор которой особенно важен для усиления симметричных сигналов, если мы хотим оставить преобразование входного сигнала в выходной линейным.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Линейность преобразования оценивают искажениями при усилении синусоидального сигнала.*

Усилители звуковой частоты имеют такой параметр как **коэффициент нелинейных искажений**. Измеряют их прибором, который можно найти на приборной инструментальной панели Multisim, называется он *Distortion Analyzer* (проведите курсором сверху вниз по панели приборов, посмотрите подсказки).

Подключим этот измеритель нелинейных искажений к выходу усилителя и запустим моделирование (рис. 4.6).

Коэффициент нелинейных искажений 11,563%. Уменьшим входной сигнал до 1 мВ (рис. 4.7). Заметьте, что при этом проще можно определить усиление по напряжению.

Нелинейные искажения уменьшились в десять раз.

**Новичок:** А зачем нужно уменьшать нелинейные искажения?

Возьмем нелинейные искажения звуковых усилителей, они воспринимаются как призвуки или хрипы.

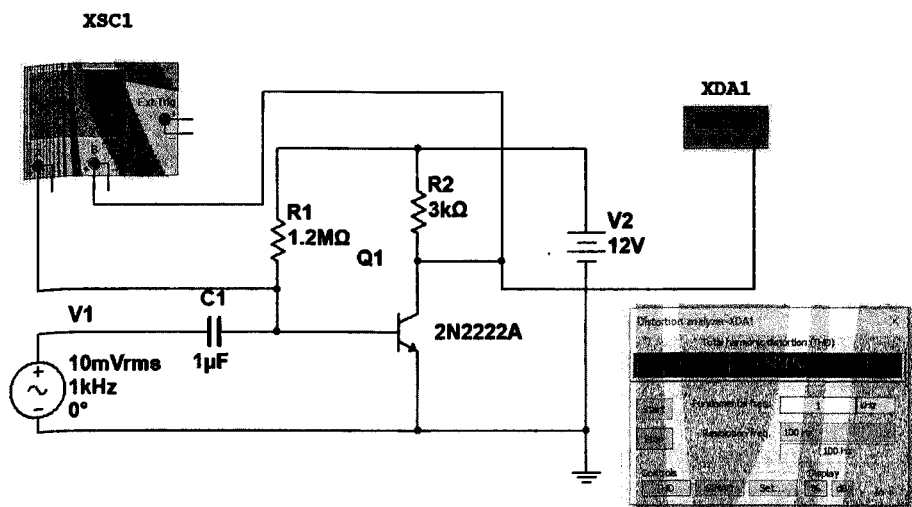


Рис. 4.6. Измерение нелинейных искажений

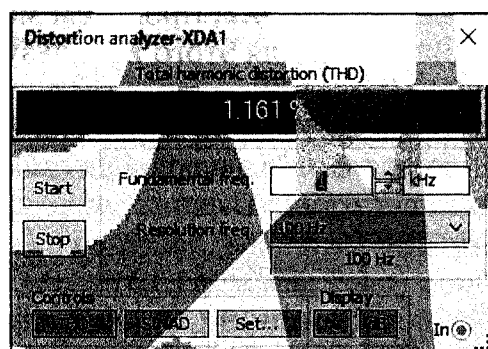
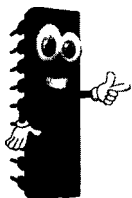


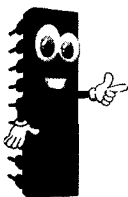
Рис. 4.7. Изменение коэффициента нелинейных искажений

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

Анализ сигналов показывает, что их можно представить в виде суммы составляющих сигналов.

Для синусоидального сигнала говорят о **гармоническом анализе**, когда составляющие сигналы имеют частоту в два, три и т. д. раза. Составляющие сигналы, **обертона**, помогают нам отличить звук скрипки от звука фортепьяно. При усилении

сигнала эти составляющие сигналы из-за нелинейности преобразования могут усиливаться не одинаково, что сказывается на форме сигнала, а исходный звук искажается.



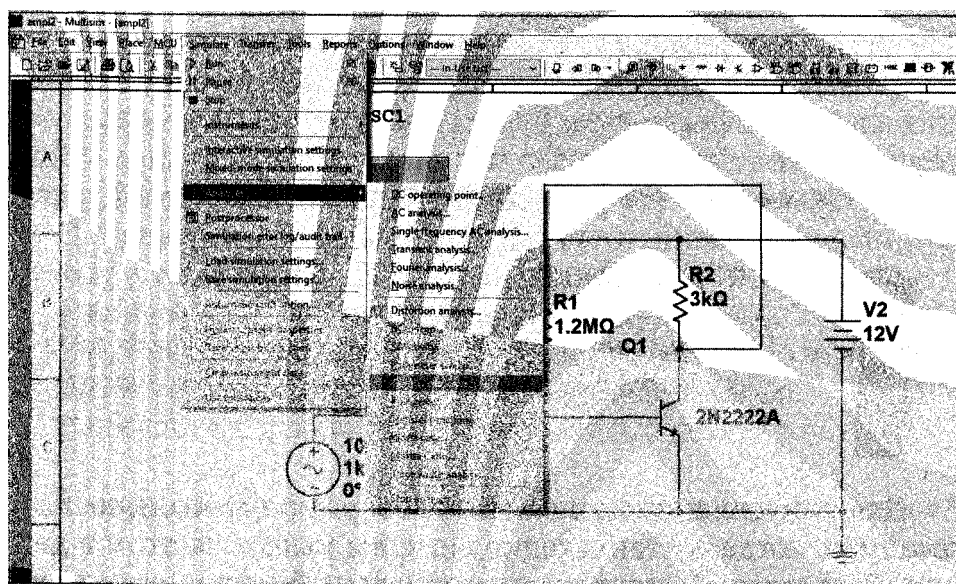
### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Правильный выбор рабочей точки обеспечивает минимальные искажения при максимальном выходном сигнале.*

Но полупроводниковые приборы имеют высокую температурную чувствительность. Программа Multisim позволяет проверить, что случится с рабочей точкой, если температура будет меняться.

Вернемся к схеме на **рис. 4.2**. Проведем моделирование с температурным анализом. Для этого используем в основном меню пункт **Simulate (рис. 4.8)**.

Чтобы было удобнее наблюдать за рабочей точкой, используем **пробник**. Его можно найти на панели приборов. Щелкнув



**Рис. 4.8.** Выбор температурного анализа

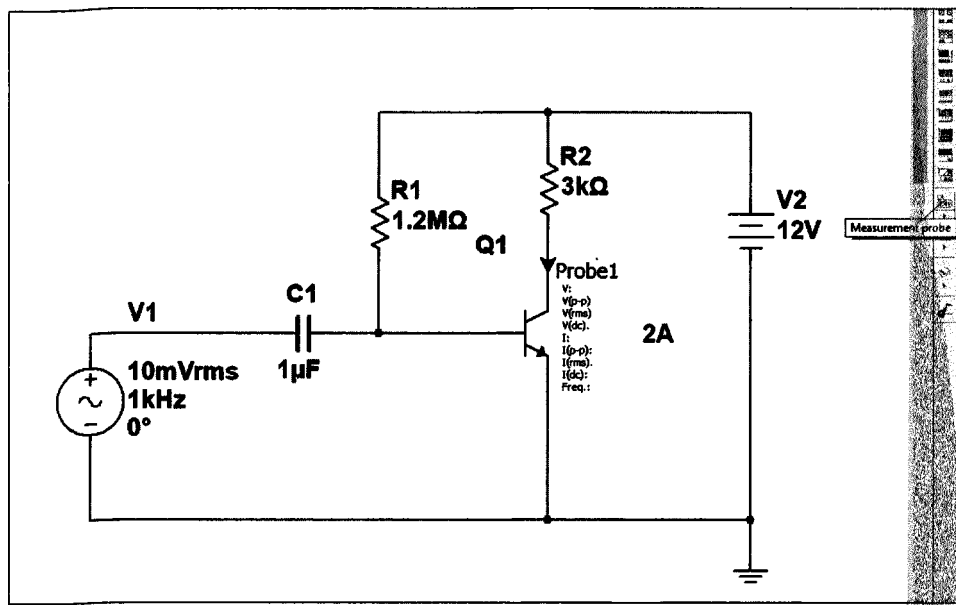


Рис. 4.9. Добавление пробника к схеме

по иконке левой клавишей мышки, перенесем пробник к коллектору транзистора Q1, где щелкнем повторно (рис. 4.9).

В диалоговом окне температурного анализа введем начальную температуру 0 градусов, конечную 100 градусов; выберем анализ рабочей точки (*DC Operating Point*) и табличное отображение результата. Кнопка **Simulate** диалога позволит запустить моделирование (рис. 4.10).

Кроме анализа в рабочей точке можно выбрать и другие варианты (список выпадает после нажатия стрелки вниз). Мы выбрали отображение двух точек (*Number of points*), заданное по умолчанию, но можно выбрать и другое количество точек.

Еще до появления результатов анализа программа предложит нам выбрать переменную, за которой следует наблюдать. Для этой процедуры есть закладка *Output*. В предложенном списке левого окна этого диалога выделим напряжение пробника и нажмем кнопку **Add** (рис. 4.11). Переменная переместится в правое окно.

Теперь кнопка **Simulate** запустит моделирование, а результат отобразится таблицей в окне графики (рис. 4.12).

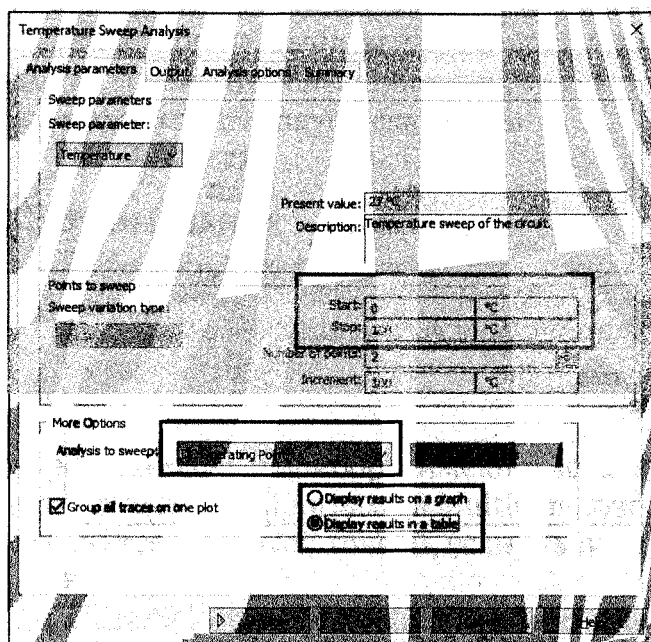


Рис. 4.10. Диалоговое окно температурного анализа

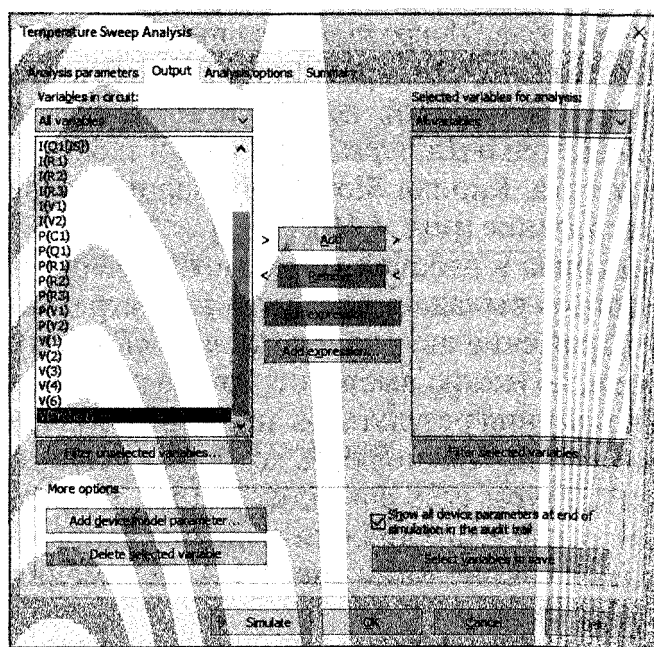
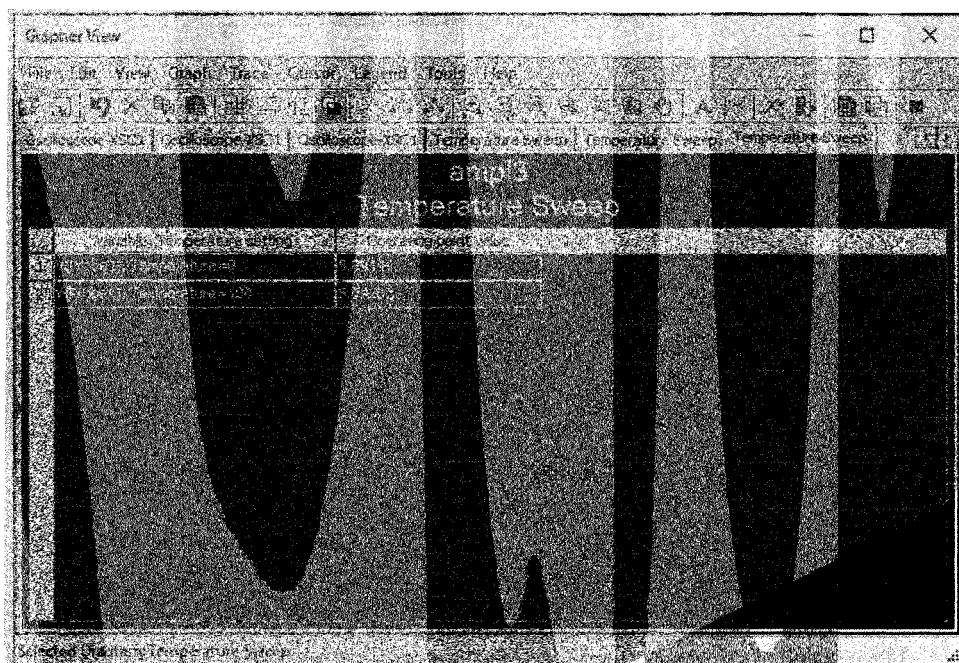


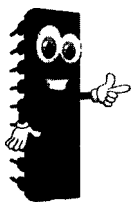
Рис. 4.11. Выбор переменной для наблюдения





**Рис. 4.12.** Результат моделирования изменения температуры

В настройках анализа мы могли бы выбрать и отображение в виде графика, если бы нас интересовали все промежуточные точки измерения. Если устройство, которое мы моделируем, предназначено для уличного использования, то диапазон температур мог быть существенно больше. То есть, больше оказалось бы и смещение рабочей точки. Для стабилизации рабочей точки применяют разные схемы. Наиболее простой вариант — это добавление резистора в цепь эмиттера.



#### **ПРИМЕЧАНИЕ.**

*Кстати, каскад усиления, о котором мы говорим, называется транзисторным усилителем с общим эмиттером, поскольку и входной сигнал, и выходной сигнал имеют общую точку, эмиттер.*

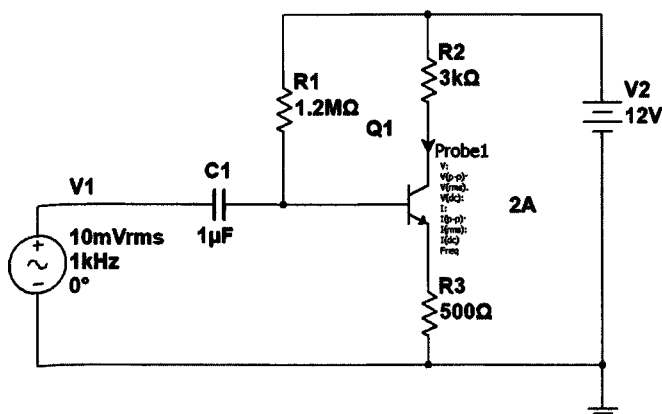


Рис. 4.13. Один из методов стабилизации рабочей точки

Добавление резистора в цепь эмиттера не меняет того, что схема будет с общим эмиттером (рис. 4.13).

**Новичок:** И что дает добавленный резистор?

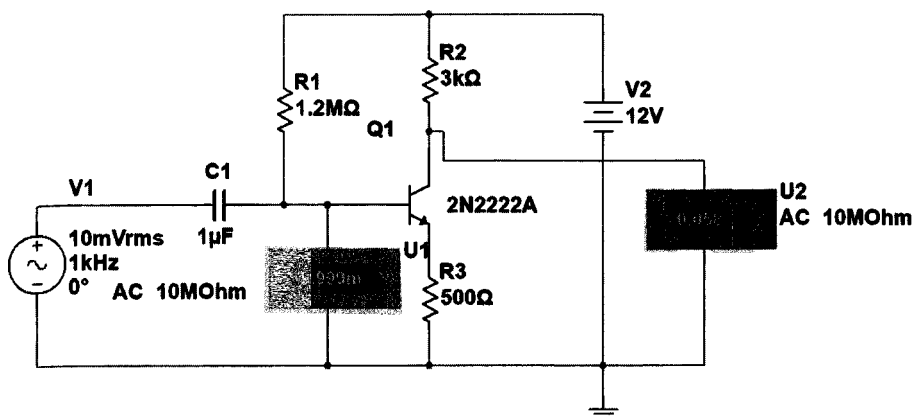
При увеличении температуры растет неуправляемый ток коллектора (и эмиттера), что приводит к увеличению падения напряжения на резисторе R3. При этом уменьшается напряжение между эмиттером и базой транзистора, что уменьшает ток базы. В результате уменьшается ток коллектора (и эмиттера). Добавленный резистор R3 является общим для входного и выходного сигнала. Часть выходного сигнала (за счет падения напряжения на резисторе) вычитается из входного сигнала.



### ЭТО ВАЖНО.

Такая связь между выходом и входом называется **обратной связью**. Если часть выходного сигнала вычитается из входного, то обратная связь называется **отрицательной**. Если складывается, то обратная связь называется **положительной**.

Как сказывается отрицательная обратная связь (ООС) на усилении?



**Рис. 4.14.** Измерение коэффициента усиления каскада с ООС

Добавим два вольтметра переменного напряжения к схеме и проверим усиление (**рис. 4.14**).

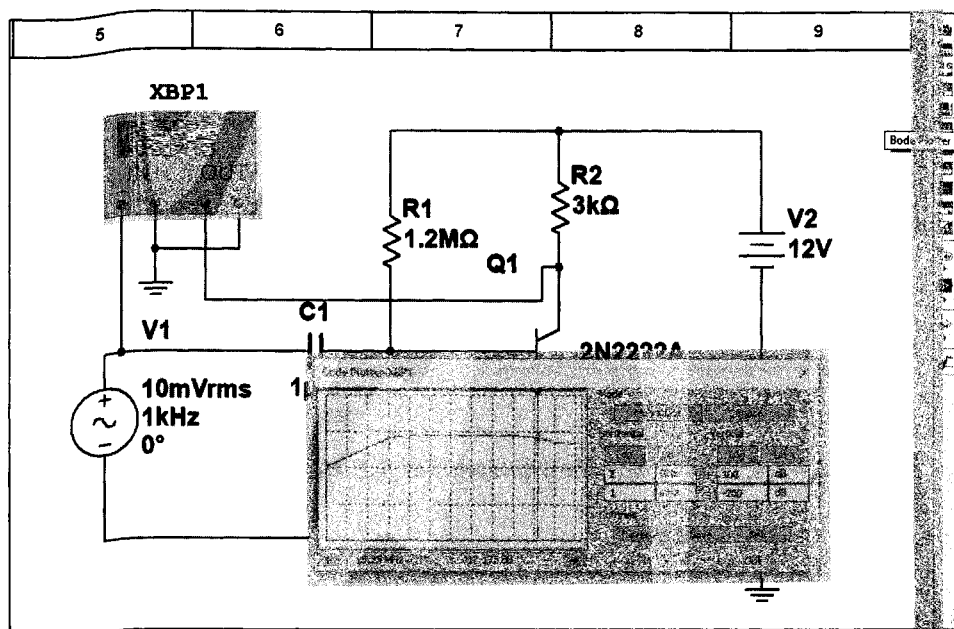
Усиление изменилось существенно. Какие параметры усилителя кроме коэффициента усиления по напряжению и коэффициента нелинейных искажений должны интересовать любителя?

## Рабочая полоса частот усилителя и другие параметры

Любой усилитель существует не сам по себе, а для какой-то цели. В одном случае нужно усилить звук оратора, выступающего на площади. В другом случае усилитель нужен рок-группе. Но даже ваш смартфон не обойдется без усилителя. И не только для усиления звука, радиосигнал тоже нужно усилить.

В зависимости от выбранной цели усилитель должен иметь определенную полосу пропускания частот.

**Новичок:** А если полоса пропускания будет такой, чтобы для любых целей?

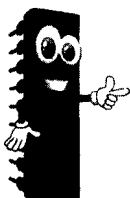


**Рис. 4.15.** Определение рабочей полосы частот плоттером Боде

Увы. Несколько десятилетий назад мало кто предполагал, что телефонный аппарат станет размером с записную книжку. Мало кто тогда предполагал, что люди будут ходить по улицами и болтать по телефону. Так и с суперуниверсальным усилителем. Сегодня он универсальный, а завтра...

Попробуем определить рабочую полосу частот усилителя **рис. 4.14**. Для этой цели используем прибор, который называется плоттер Боде. Его можно найти на панели приборов справа. Рабочая полоса частот определяется по уровню спада сигнала на краях диапазона (**рис. 4.15**).

Рабочая полоса частот имеет спад по краям диапазона в 3 децибела.



### ОПРЕДЕЛЕНИЕ.

Децибел – относительная единица, используемая в электротехнике. Для напряжения это  $20 \log(U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}})$ .

На **рис. 4.15** видно, что верхняя граничная частота составляет 15,25 МГц. Предположим, что нам нужен усилитель для усиления речи. Диапазон частот для этого случая приблизительно 300—3000 Гц. Пока мы используем однокаскадный усилитель, можно не обращать внимание на то, что верхняя граничная частота существенно выше необходимой.

Но нам понадобится добавить выходной каскад, работающий, скажем, на громкоговоритель. В этом случае на вход устройства могут попадать высокочастотные наводки, усиление которых выходным каскадом может перегружать его, хотя усиливать помехи было бы глупо.

**Новичок:** *И что можно сделать, чтобы сузить полосу частот?*

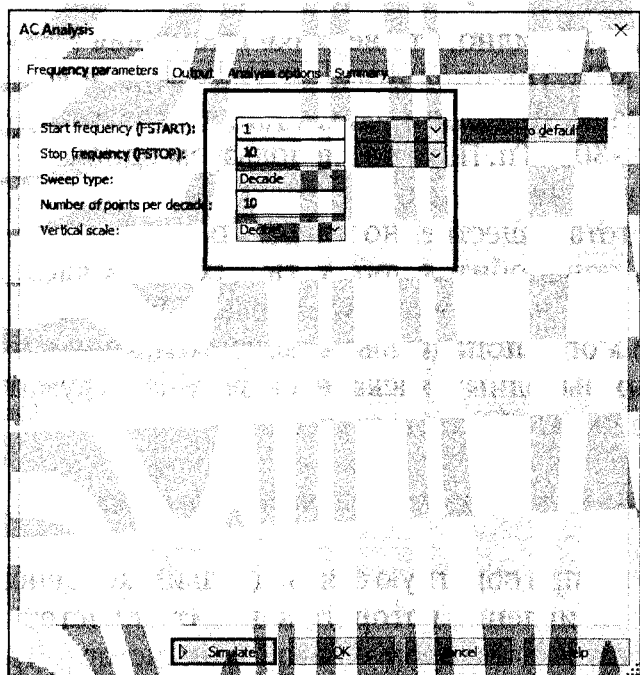
Вспомним про обратную связь. Добавим конденсатор, реактивное сопротивление которого зависит от частоты, подключив его между коллектором и базой транзистора. Просмотреть результат этого действия можно на графике.

Для этого выберем в основном меню: *Simulate*→*Analyses*→*AC Analysis*. В появившемся диалоговом окне зададим начальную и конечную частоту моделирования, определим отображение полученного результата в количестве точек на декаду, и зададим шкалу вертикальной оси в децибелах (**рис. 4.16**).

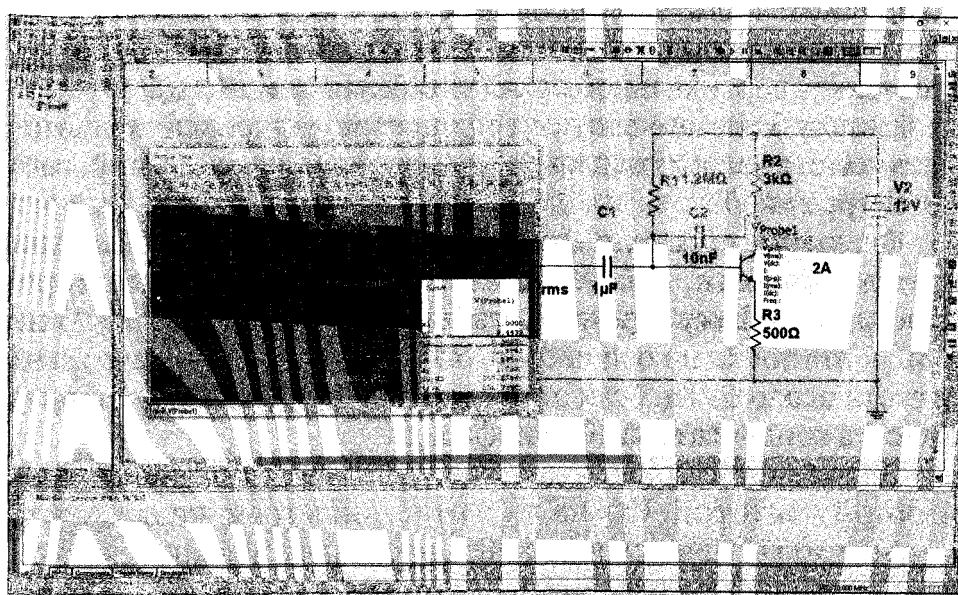
Кнопка **Simulate** запустит процесс моделирования и автоматически вызовет появление окна графики по окончании расчетов (**рис. 4.17**).

Как вы уже обратили внимание, для такого подхода используется **пробник**, добавленный к коллектору транзистора. Курсор по графику перемещается в точку, где сигнал спадает на 3 дБ, и эта точка по оси частот (отмечено в окне курсора) дает частоту около 6 кГц. Если этого достаточно, то можно оставить емкость конденсатора 10 нанофарад.

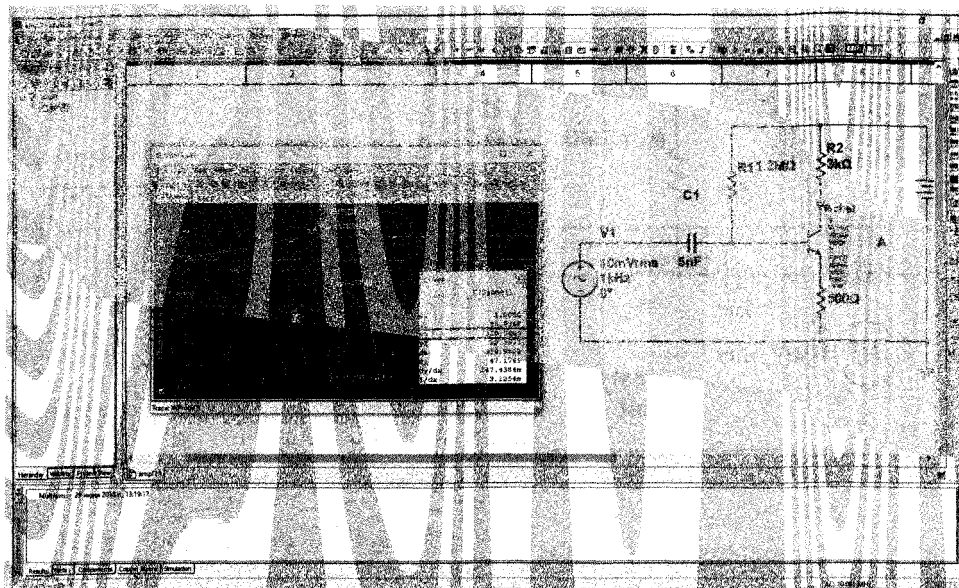
Теперь посмотрим, что у нас получается с **нижней граничной частотой**. Нужна ли нам нижняя граничная частота меньше 10 Гц? Скорее всего, нет, поскольку наводки силовой сети, имеющей частоту 50 Гц, не украсят звучание.



**Рис. 4.16.** Диалог настройки анализа на переменном токе



**Рис. 4.17.** График, отображающий рабочую полосу частот



**Рис. 4.18.** Коррекция нижней граничной частоты

Уберем корректирующий конденсатор в цепи коллектора и уменьшим значение входного конденсатора C1. Повторим анализ на переменном токе (**рис. 4.18**).

Теперь нижняя граничная частота принимает значение порядка 300 Гц. Как работает та коррекция, которую мы осуществили с верхней и нижней граничной частотой? Для верхней граничной частоты мы использовали параллельную отрицательную обратную связь. То, что это обратная связь, вопросов не должно вызывать — сигнал с выхода через конденсатор отправляется на вход.

**Новичок:** Но как мы определили, что это отрицательная обратная связь?

С этим я немного поторопился. Сделаем так — заменим источник синусоидального сигнала другим источником, подключим осциллограф и посмотрим, что у нас на входе и на выходе (**рис. 4.19**).

При использовании импульсов треугольной формы особенно ясно видно, что входной и выходной сигналы **противо-**

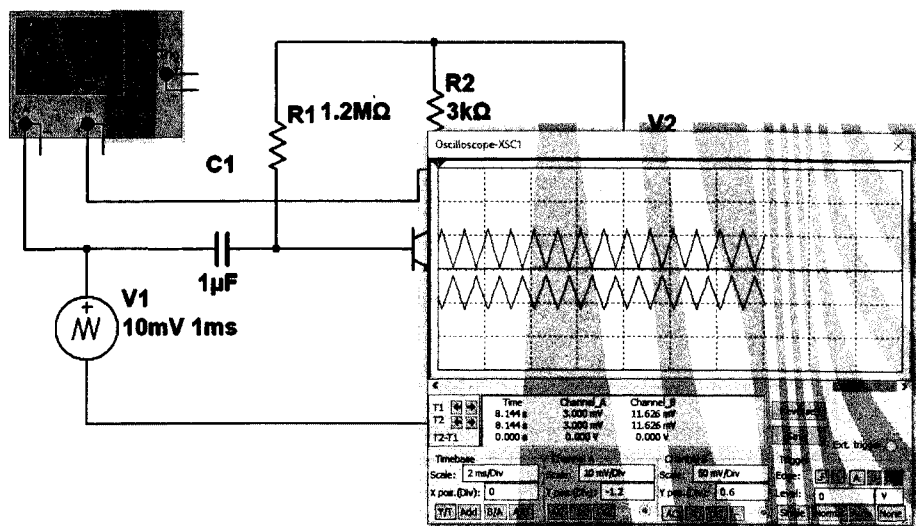


Рис. 4.19. Входной и выходной сигнал однокаскадного усилителя

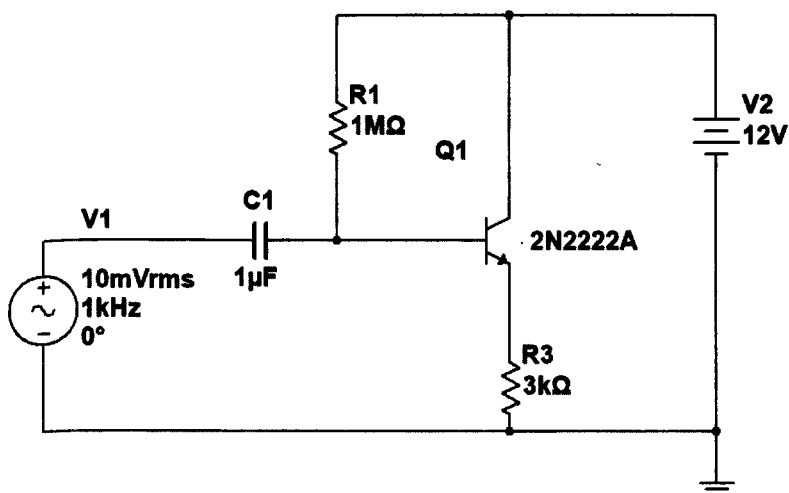
**фазны:** когда входной сигнал нарастает, выходной спадает. В этом случае часть сигнала с выхода будет вычитаться из входного сигнала.

**Новичок:** Но почему часть выходного сигнала?

Посмотрите, что у нас получается, когда мы добавляем конденсатор между выходом и входом. Конденсатор образует **частотнозависимый делитель напряжения с входным сопротивлением каскада**. Аналогично входной конденсатор образует частотнозависимый делитель, ограничивая низкие частоты. По этой причине входное сопротивление становится важным параметром усилителя.

Одним из примеров важности входного сопротивления служит стыковка усилителя с входным колебательным контуром радиоприемника. Входное сопротивление усилителя, нагружая колебательный контур, существенно уменьшает его избирательность. Помимо той радиостанции, которую вы слушаете, вы можете услышать и соседнюю. Нужно ли это вам?

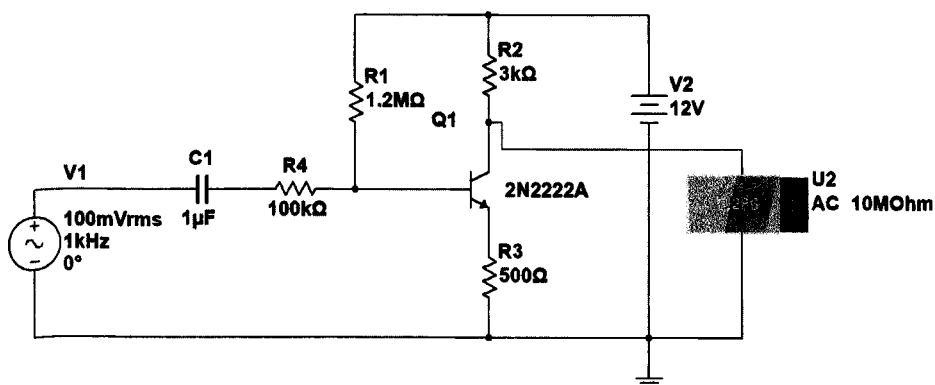




**Рис. 4.20.** Каскад усиления с общим коллектором

В тех случаях, когда нужно большое входное сопротивление раньше часто применяли схему **усилителя с общим коллектором** (рис. 4.20).

Общим для входного и выходного сигналов коллектор является потому, что сопротивление источника питания  $V2$  для сигнала равно нулю (или оно очень маленькое). Проблема высокого входного сопротивления решилась по мере развития технологии изготовления полевых транзисторов, они стали доступнее, стали высокочастотными, что позволяет применять их в тех случаях, когда нужно высокое входное сопротивление.

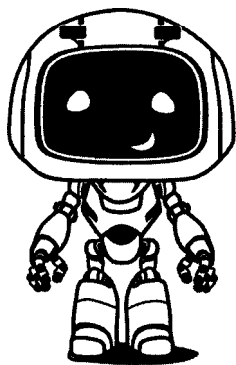


**Рис. 4.21.** Определение входного сопротивления усилителя

**Новичок:** *А как определить входное сопротивление?*

Входное сопротивление усилителя можно рассчитать, но можно определить экспериментально. Рассмотрим схему на **рис. 4.14**, в которую добавим последовательно с входным конденсатором резистор, сопротивление которого подберем так, чтобы напряжение сигнала на выходе уменьшилось вдвое (**рис. 4.21**).

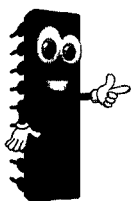
Добавленный резистор R4 образует с входным сопротивлением каскада делитель напряжения. При уменьшении сигнала на выходе вдвое входное сопротивление будет равно сопротивлению добавленного резистора.



# ПАРАМЕТРЫ, ПОМЕХИ И ПРОЧИЕ АТТРИБУТЫ УСИЛИТЕЛЕЙ

## Отрицательная обратная связь в многокаскадном усилителе

Мы рассмотрели некоторые важные параметры усилительного каскада. На практике чаще используют многокаскадные усилители. Отрицательная обратная связь, которую мы ввели для стабилизации рабочей точки транзистора (рис. 4.13), улучшает ряд других параметров: уменьшаются нелинейные искажения, шумы, несколько расширяется рабочая полоса частот.



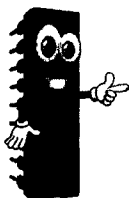
### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Введенную нами цепь обратной связи называют локальной. А при многокаскадном построении усилителя вводят общую отрицательную обратную связь.*

Транзисторы позволяют вводить сильную (глубокую) отрицательную обратную связь, что заставляет задуматься об устойчивости усилителя. Определяя рабочую полосу частот,

мы получили график зависимости выходного напряжения от частоты при неизменном входном напряжении.

Такой график называют **амплитудно-частотной характеристикой** (или **АЧХ**) усилителя. Используя построения «по умолчанию», мы кроме этого графика получили еще один. Второй график показывает изменение фазы выходного сигнала по отношению к фазе входного.

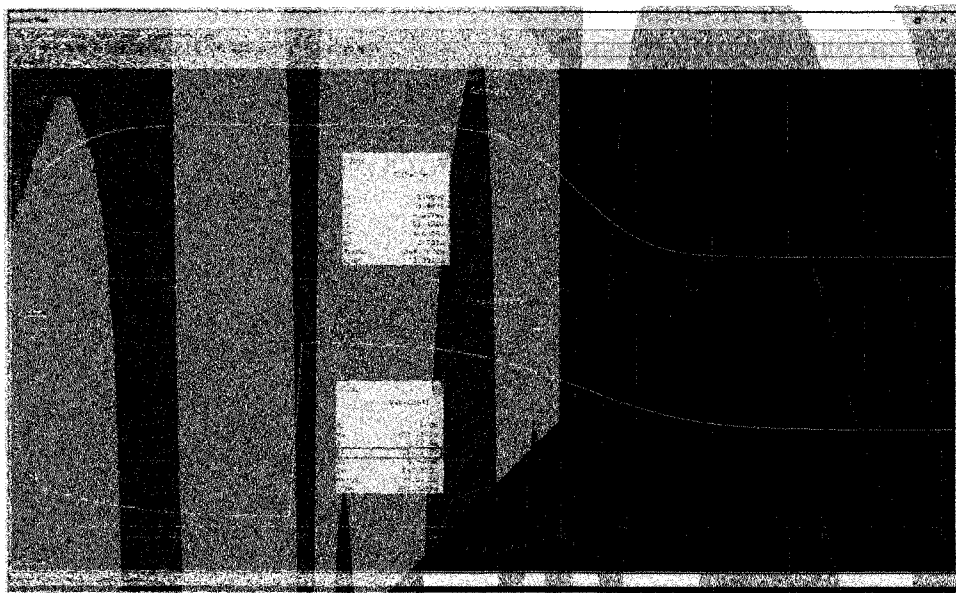


#### ПРИМЕЧАНИЕ.

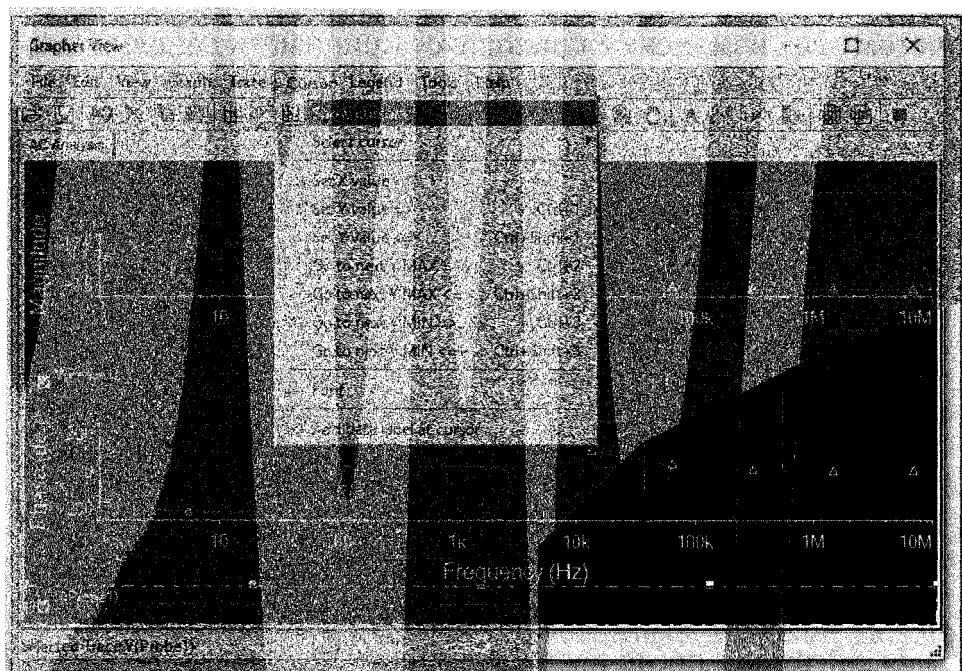
*Вспомним, что напряжение на коллекторе транзистора противофазно входному!*

Рассмотрим подробнее графики на **рис. 4.17**. На верхнем графике маркером отмечена верхняя граничная частота. Отметим маркером эту частоту на нижнем графике (**рис. 5.1**).

Чтобы получить маркеры для второго графика (**фазочастотной характеристики, ФЧХ**), выделим в нижней части



**Рис. 5.1.** Фаза выходного сигнала на верхней граничной частоте



**Рис. 5.2.** Включение маркеров для второго графика

окна графики V(Probe1), затем в основном меню окна выберем пункт *Cursor* и раздел *Show cursors*, показать курсоры (рис. 5.2).

Видно, что фаза выходного сигнала меняется. Принято считать, что на верхней граничной частоте фаза меняется на 45 градусов. В итоге для однокаскадного усилителя фаза может измениться на 90 градусов.

В **многокаскадном усилителе** это изменение соответственно больше. Мы рассуждаем так:

- ♦ на выходе одного каскада сигнал в противофазе;
- ♦ два каскада — сигнал в фазе с первым входом;
- ♦ три каскада возвращают сигнал в противофазу к входному сигналу.

**Новичок:** *Значит, обратная связь будет отрицательной. Все правильно, а что не так?*

Эти рассуждения не учитывают изменение фазы сигнала на верхних граничных частотах каждого из каскадов усиления. С

учетом этих изменений приходится принимать дополнительные меры по выяснению фазы выходного сигнала. То есть, в многокаскадном усилителе глубину обратной связи (показывающую, насколько уменьшилось усиление после ввода обратной связи) определяют по критериям устойчивости усилителя с отрицательной обратной связью.



### СОВЕТ.

*Существуют разные критерии устойчивости. Начинаящим, с моей точки зрения, удобнее использовать простейший вариант: получите АЧХ усилителя в Multisim, спад графика за первой граничной частотой 20 дБ/декаду.*

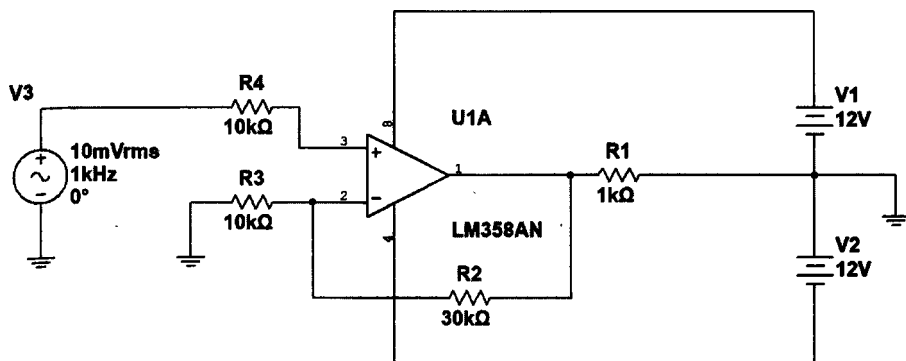
Если график после введения обратной связи попадает на этот участок, ваш усилитель будет устойчив. В других случаях необходимо дополнительное исследование устойчивости усилителя.

## || Некоторые применения || операционного усилителя

Широко применяемые в настоящее время операционные усилители, имеющие очень большое усиление, часто выполняют так, что их частотная характеристика имеет спад 20 дБ/дек во всей рабочей полосе частот. Это позволяет вводить любую глубину обратной связи. Операционный усилитель имеет два входа:

- ♦ прямой (неинвертирующий);
- ♦ обратный (инвертирующий).

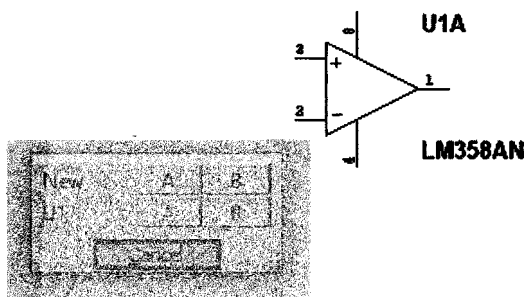
**Обратная связь** вводится так, как показано на рис. 5.3. Коэффициент усиления в показанной схеме можно определить, разделив сопротивление резистора  $R_2$  на сопротивление резистора  $R_1$ .



**Рис. 5.3.** Операционный усилитель с ООС

стора R1 плюс единица. При подаче выходного сигнала на прямой вход фаза выходного сигнала будет совпадать с фазой входного сигнала. То есть, обратная связь будет положительной.

Операционный усилитель в программе Multisim можно найти с помощью кнопки с иконкой операционного усилителя. В диалоге есть раздел *OPAMP*. Список доступных моделей очень большой. Выбрав модель LM358, следует выбрать, какой из двух ОУ, в корпусе два усилителя, вы желаете использовать (**рис. 5.4**).

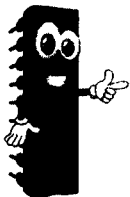


**Рис. 5.4.** Выбор операционного усилителя из двух доступных

**Новичок:** А усилители микросхемы LM358 разные?

Нет, но надо полагать, что этот дополнительный выбор, в первую очередь, связан с тем, что программе важно знать нумерацию использованных выводов, чтобы передать эти данные в программу разводки печатных плат.

Операционные усилители оказались очень удобны при создании электронных устройств, хотя некоторое неудобство доставляла необходимость в двухполярном питающем напряжении.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Позже появились операционные усилители, которые допускают однополярное питание.*

Операционный усилитель может успешно усиливать сигнал постоянного тока. То есть, нижняя граничная частота будет равна нулю. Например, заглянув в справочные данные (datasheet) операционного усилителя LM358, можно найти схему фотоприемника (рис. 5.5).

При освещении фотодиода через него протекает ток, преобразуемый операционным усилителем в напряжение на выходе. Подобная схема часто используется в автоматике для переключения, скажем, уличного освещения в разное время суток. Программа Multisim позволяет моделировать работу схемы, но для этого ее следует модифицировать. Откроем диалоговое окно компонентов, нажмем кнопку **Search** (поиск), чтобы ввести следующий компонент (рис. 5.6).

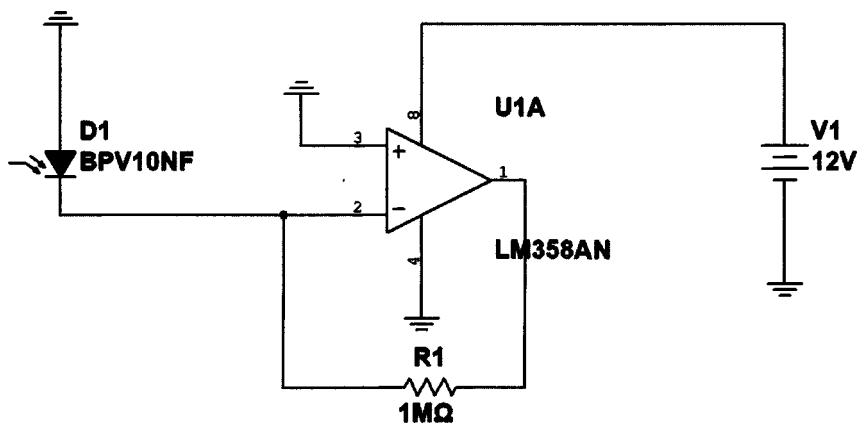
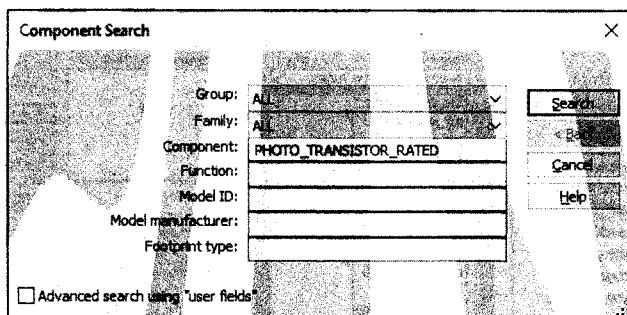


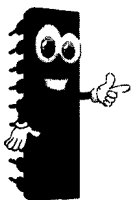
Рис. 5.5. Схема фотоприемника из справки к LM358





**Рис. 5.6.** Поиск компонентов в программе Multisim

Кнопка **Search** в этом диалоге откроет окно результата, где можно подтвердить, что найденный компонент является искомым. Во вновь открытом диалоговом окне компонентов будет выделен фототранзистор. Он заменит ранее использованный фотодиод.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Фототранзистор более чувствительный фотоэлемент, чем фотодиод, но работает аналогичным образом.*

Там же в окне компонентов есть еще один необходимый нам для моделирования компонент (**рис. 5.7**).

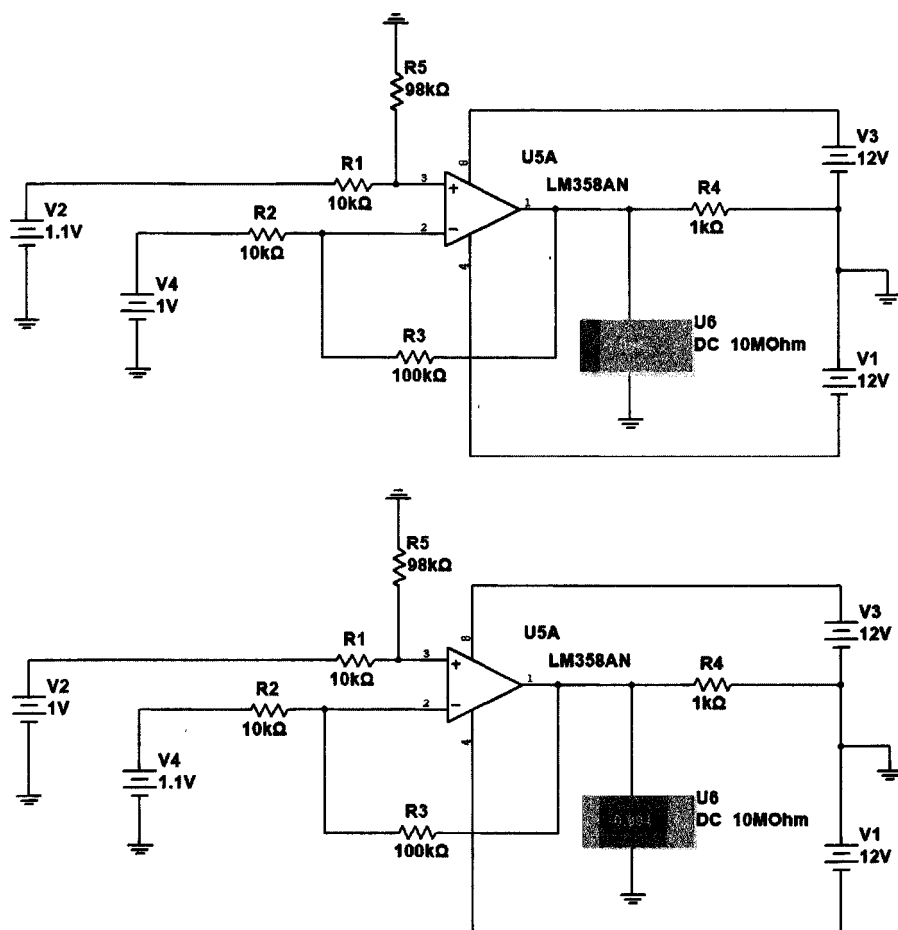
После изменений в схеме можно запустить моделирование. Меняя, например, напряжение питания излучающего светодиода, получим разные значения напряжения на выходе операционного усилителя (**рис. 5.8**).

Операционный усилитель имеет два входа, разница напряжений между которыми определяет выходное напряжение. Проведем следующие опыты в программе Multisim (**рис. 5.9**).

**Новичок:** *И чем это интересно?*

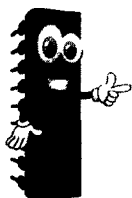
Дело в том, что в ряде случаев источник сигнала располагается далеко от входа усилителя. Хотя провода при этом экра-





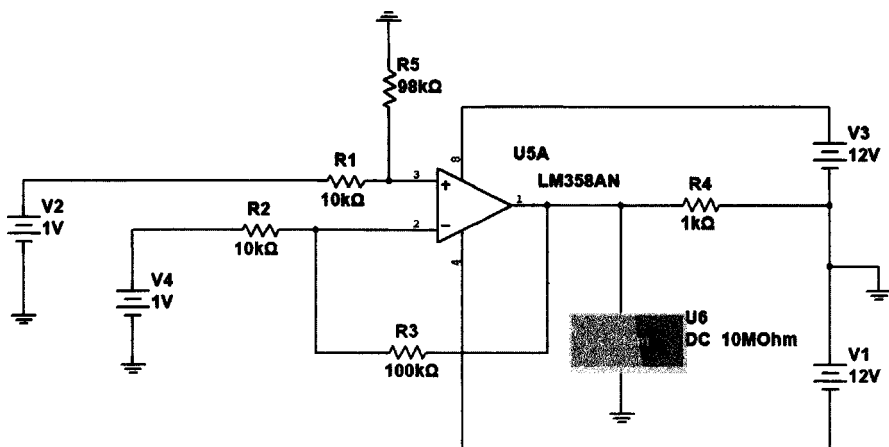
**Рис. 5.9.** Использование двух входов ОУ

нируют, наводки могут оказаться существенными. Но напряжение наводок одинаково для обоих проводов (рис. 5.10).



### ОПРЕДЕЛЕНИЕ.

*Использование двух входов для подключения источника оказывается лучше защищено от наводок. Такой усилитель называют дифференциальным.*

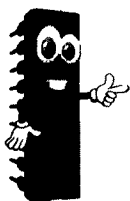


**Рис. 5.10.** Выходное напряжение при одинаковых напряжениях наводок на входы ОУ

А такой метод борьбы с наводками используют, например, в интерфейсе RS485, позволяющем передавать сигнал на расстояния в сотни метров. И соединительные провода интерфейса мало чувствительны к наводкам, и сами соединительные провода не наводят напряжение на соседние.

**Новичок:** А используют положительную обратную связь?

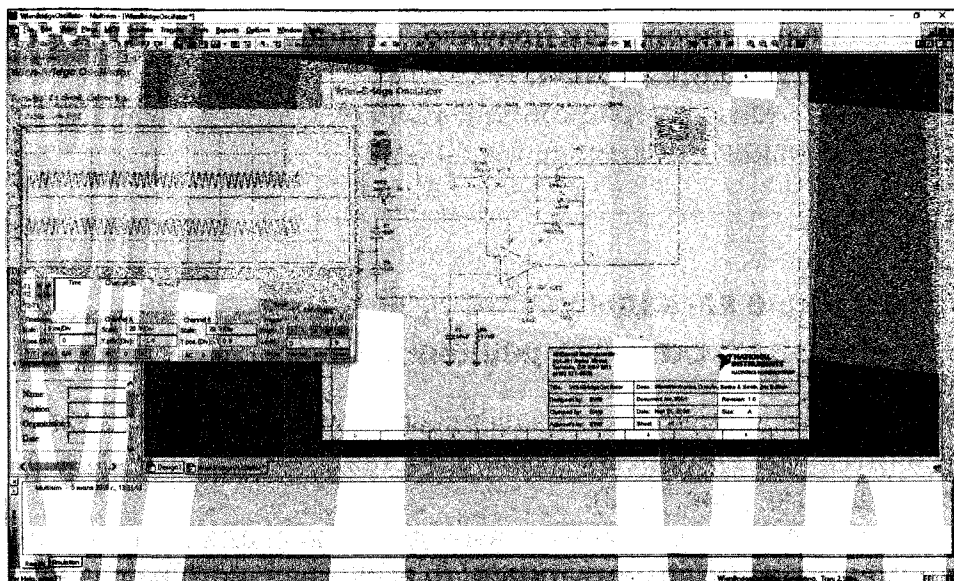
В ряде случаев используют, например в генераторах. Есть пример применения операционного усилителя в схеме **генератора с мостом Вина**.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Если использовать не отрицательную обратную связь, а положительную, то операционный усилитель будет работать как генератор.*

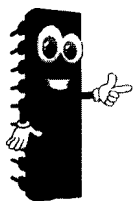
При использовании фильтров на выходе генератора можно получить синусоидальное напряжение. Схему такого генератора можно найти в примерах для Multisim (**рис. 5.11**).



**Рис. 5.11.** Генератор с мостом Вина из примеров Multisim

В цепи положительной обратной связи стоит фильтр C1R4C2R5. С помощью фильтра генератор настраивается на одну рабочую частоту. А элементы отрицательной обратной связи:

- ♦ поддерживают стабильность амплитуды;
- ♦ улучшают форму кривой (уменьшают нелинейные искажения).



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Прочтите то, что написано в окне менеджера проекта слева: при значении потенциометра R1 более 40% генерация не возникает. Не забудьте об этом!*

Моделей операционных усилителей сегодня существует великое множество, достаточно посмотреть их список в диалоге компонентов программы, но и это далеко не все модели. Каждая из моделей имеет определенные параметры, описан-

ные в справочниках. Как правило, их допустимое нагрузочное сопротивление порядка 1—2 кОм. Но что делать, если вам нужно нагрузить операционный усилитель на, скажем, наушники, имеющие сопротивление 60 Ом?

## Выходные каскады усилителей, проблемы и схемные решения

Усилители очень часто завершают выходными каскадами, усилителями мощности. Самая простая схема такого каскада выглядит так (рис. 5.12).

Транзисторы для такого выходного каскада желательно применять **комплементарные**, то есть, транзисторы разного типа проводимости, но с одинаковыми параметрами. Такие пары транзисторов выпускаются давно.

Транзисторы Q1 и Q2 включены с общим коллектором (другое название **эмиттерный повторитель**), что существенно снижает выходное сопротивление каскада, позволяя включать низкоомную нагрузку. Такой каскад некогда называли «пуш-пул» (*push-pull*, тьяни-толкай).

В отсутствии сигнала оба выходных транзистора закрыты, ток через них не протекает. Такой режим получается весьма экономным, но имеющим один **недостаток** (рис. 5.13).

**Верхний график** — это выходной сигнал, на котором ясно видно характерное искажение сигнала, которое называют «сту-

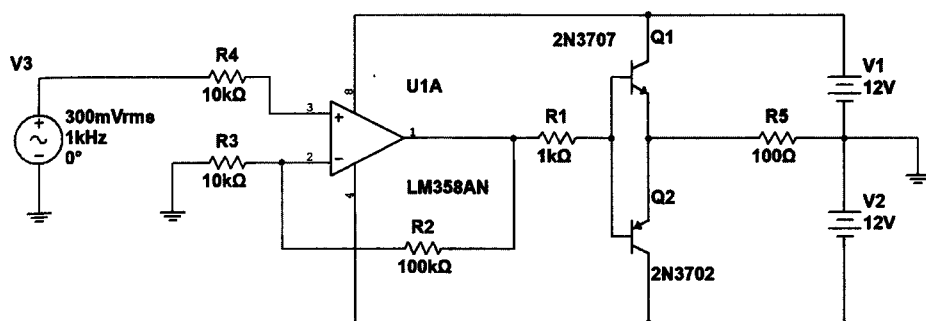
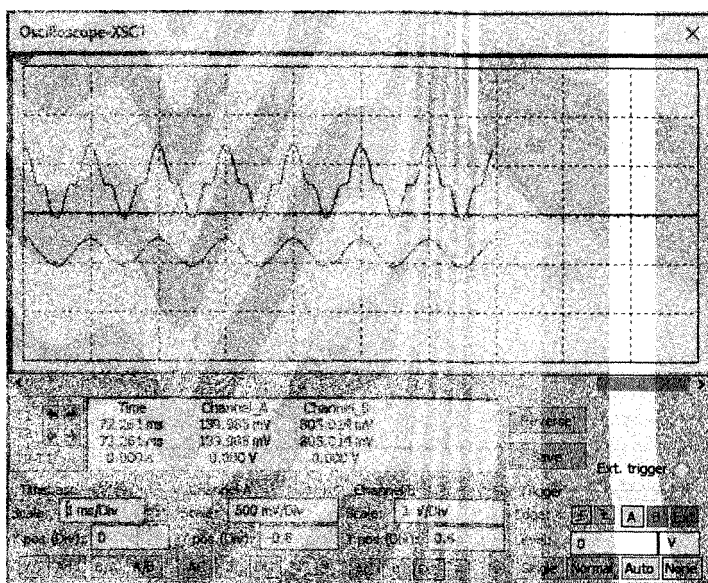


Рис. 5.12. Простейшая схема двухтактного выходного каскада



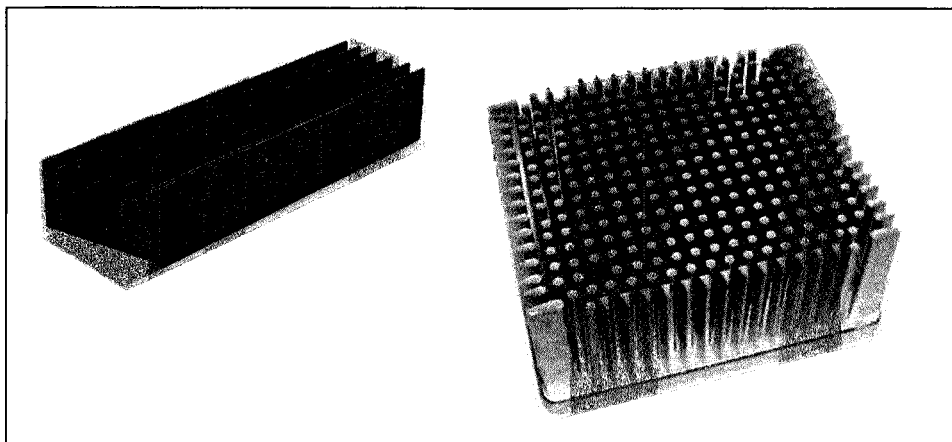
**Рис. 5.13.** Наблюдение за входным и выходным сигналом схемы на рис. 5.12

**пенька».** Если искажения не так важны, то можно применить такую схему выходного каскада, который работает в **режиме В**. Он имеет довольно хороший КПД.

А если отсутствие искажений выходит на первый план, то применяют **режим работы каскада А**, когда при отсутствии сигнала через транзисторы протекает номинальный ток, обеспечивающий заданную мощность в нагрузке. При этом, правда, КПД не более 50%.

**Новичок:** *А нельзя их как-то смешать?*

Это часто делают, применяя режим, который называют **режимом работы выходного каскада АВ**. Выбор режима работы связан с еще одним фактором. В режиме А на транзисторах усилителя мощности рассеивается достаточно большая мощность, выделяемая в виде тепла, что требует использования охлаждения транзисторов. Их устанавливают на радиаторы. По мере совершенствования звуковых усилителей от них требовалась все большая выходная мощность.



*Рис. 5.14. Радиаторы для охлаждения транзисторов*

Применение разных радиаторов, таких как ребристые и игольчатые (рис. 5.14), в какой-то момент перестало удовлетворять разработчиков.

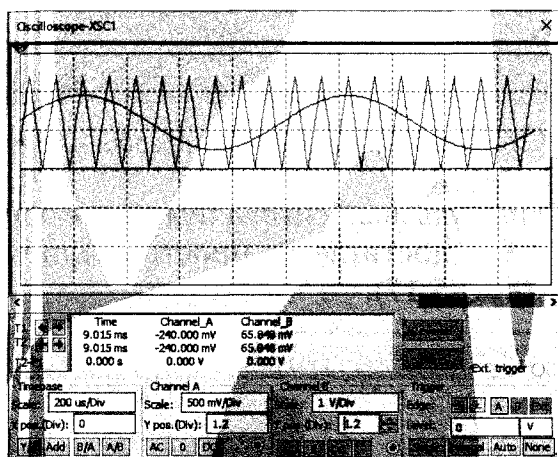
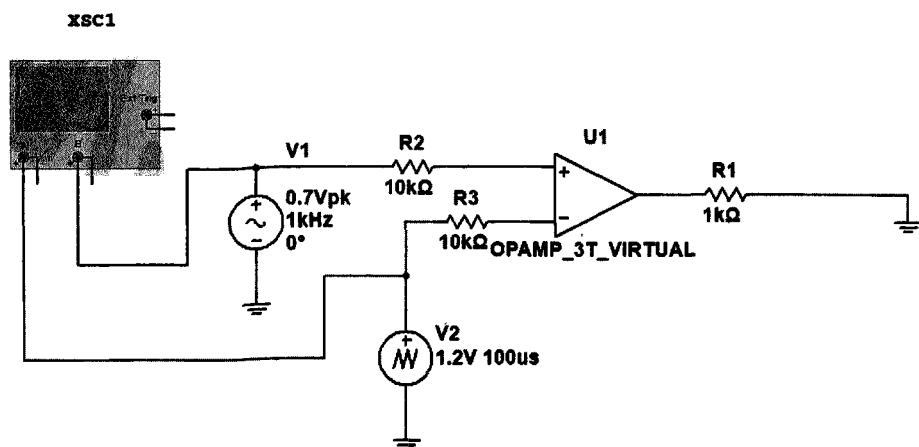
## Усилитель класса D

Чтобы уменьшить габариты усилителей при увеличении выходной мощности, разработчики придумали новый режим работы — **режим D**. Выходные транзисторы в этом случае работают в ключевом режиме, когда на транзисторах рассеивается небольшая мощность при большой выходной мощности.

**Новичок:** *А что означает — транзисторы в ключевом режиме?*

**Ключевой режим работы транзистора** прост: транзистор работает наподобие ключа, замкнут или разомкнут. То есть, транзистор либо полностью включен, либо полностью выключен. И в том, и в другом случае на транзисторе рассеивается небольшая мощность — в первом случае из-за небольшого





**Рис. 5.15.** Преобразование синусоидального сигнала для работы в режиме D

падения напряжения на нем, во втором — из-за небольшого тока через транзистор.

Суть работы усилителя в режиме D сводится к тому, что сигнал преобразуют перед подачей на усилитель мощности. Для этого используют, например, **генератор треугольных импульсов** (рис. 5.15).

На выходе сигнал становится импульсным (рис. 5.16). В этом примере применена широтно-импульсная модуляция (ШИМ).

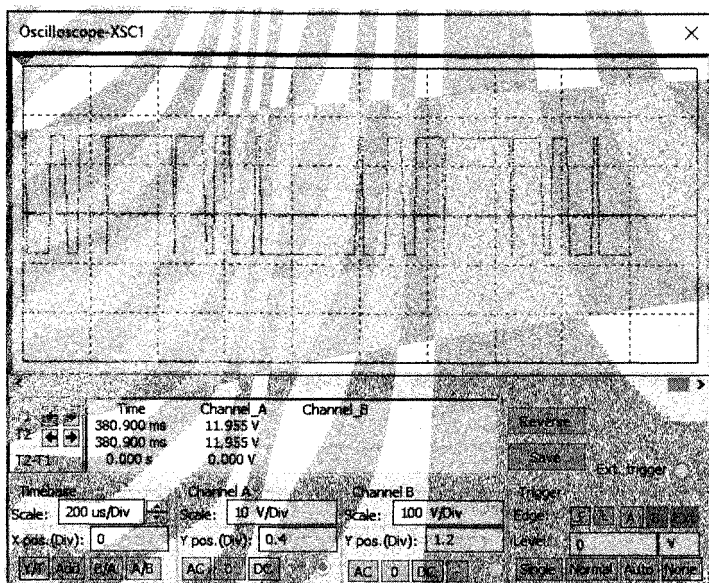


Рис. 5.16. Выходной сигнал после преобразования к режиму D

Однако импульсный сигнал нужно преобразовать к исходному виду. Что достигается простым приемом. Применяют LC-фильтр (рис. 5.17).

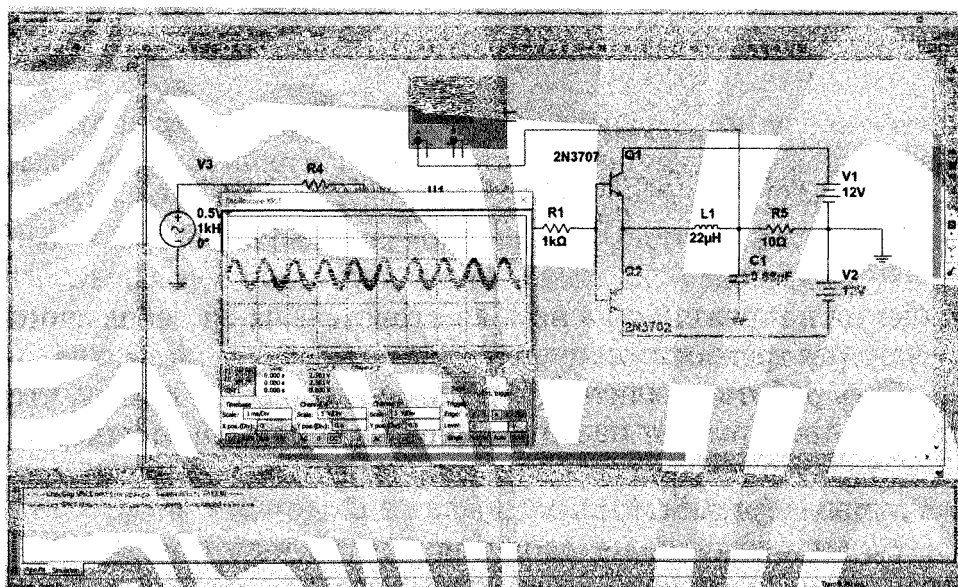
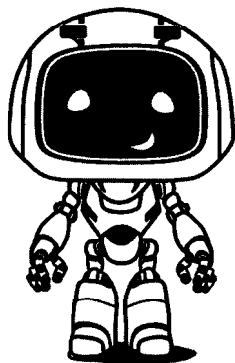


Рис. 5.17. Обратное преобразование сигнала к исходному виду

В этом опыте использован операционный усилитель, работающий в качестве **компаратора**. Поэтому в схеме моделирования используется идеальный операционный усилитель, от него требуется очень широкая полоса пропускания. Но идея использования усилителя класса D, надеюсь, понятна. И это не единственный вариант решения для режима D.

Сегодня схемотехника создания микросхем усилителей позволяет получить очень хорошие параметры. Так, 20 ваттный усилитель, работающий в режиме D, имеет коэффициент нелинейных искажений 0,11% и соотношение сигнал/шум более 100 дБ.



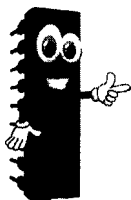
# ФИЛЬТРЫ

## Интегрирующая и дифференцирующая цепь

Мы уже встречались с электрическими фильтрами, когда говорили о частотозависимых делителях напряжения.

**Новичок:** *И что такое, электрический фильтр?*

Начнем с очень простого. Вот так выглядит входная цепь усилителя (рис. 6.1).



### ОПРЕДЕЛЕНИЕ.

Фильтр верхних частот — это фильтр, пропускающий сигнал с частотой выше некоторой, называемой частотой среза или нижней граничной частотой.

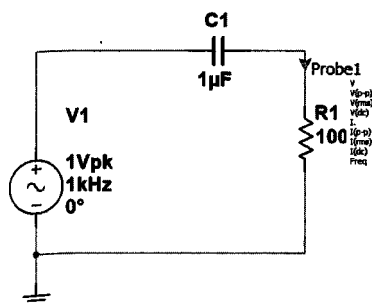
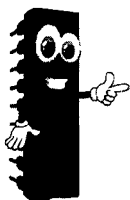


Рис. 6.1. Фильтр верхних частот

Если в вашем распоряжении только вольтметр и генератор, вам придется проделать большую работу:

- ♦ менять частоту генератора;
- ♦ измерять напряжения;
- ♦ строить по таблице график.

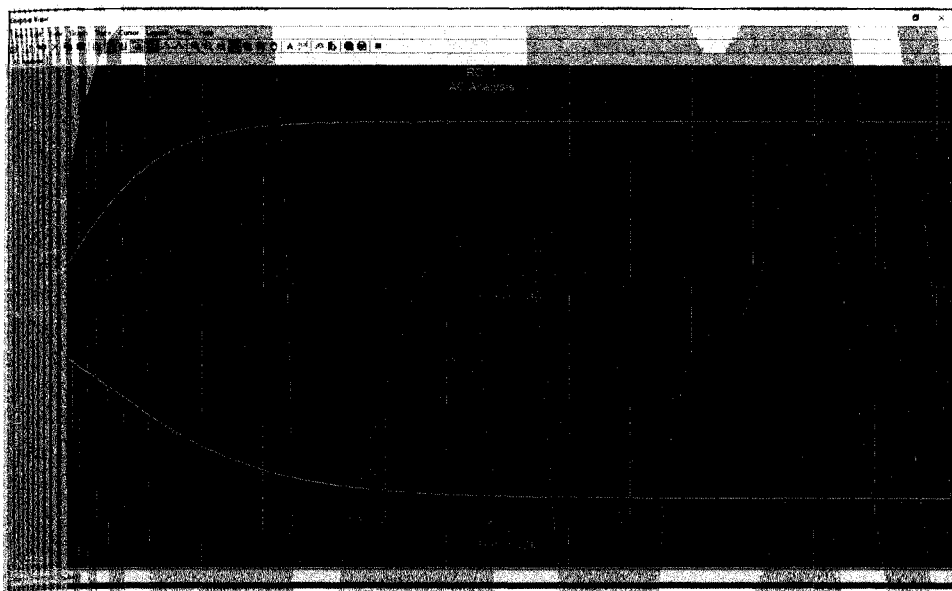
Программа Multisim проделывает эту работу за вас: *Simulate*→*Analyses*→*AC analysis* (рис. 6.2).



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Без АЧХ (амплитудно-частотной характеристики) трудно сказать, как работает фильтр (не забудьте в настройках графика выбрать децибелы для вертикальной оси АЧХ).*

Глядя на график амплитудно-частотной характеристики (верхний на рис. 6.2), можно удостовериться, что высокие



**Рис. 6.2.** Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики фильтра

частоты проходят через фильтр, а низкие, начиная с нижней частоты среза (нижней граничной частоты), — ослабляются.

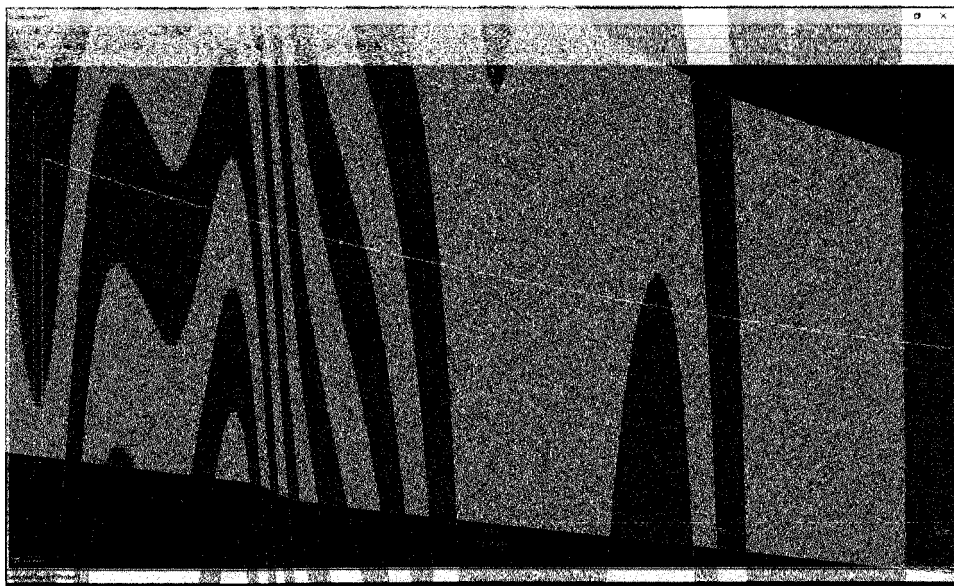
**Новичок:** *А нижняя граничная частота и нижняя частота среза — это одно и то же?*

Да, но RC-фильтр верхних частот **рис. 6.1** называют еще **дифференцирующей цепью**. Чтобы понять, откуда берется это название, заменим источник синусоидального напряжения напряжением ступенька, этот источник можно найти в разделе *Sources*→*SIGNAL\_VOLTAGE\_SOURCES*→*STEP\_VOLTAGE* диалога выбора компонентов.

Для получения графика воспользуемся построителем графиков:

*Simulate*→*Analyses*→*Transient analysis* (**рис. 6.3**).

Производная, как мы знаем, отображает скорость изменения графика. В данном случае видно, что большая в первый



**Рис. 6.3.** Реакция дифференцирующей RC цепи на напряжение «ступенька»

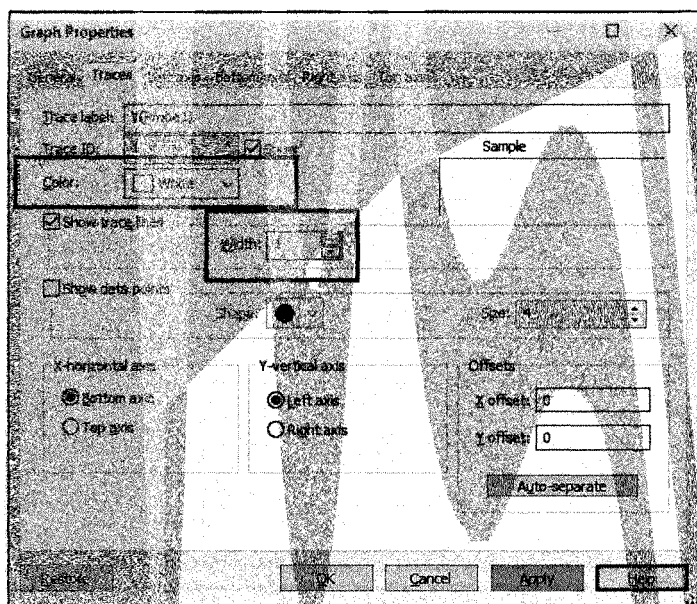


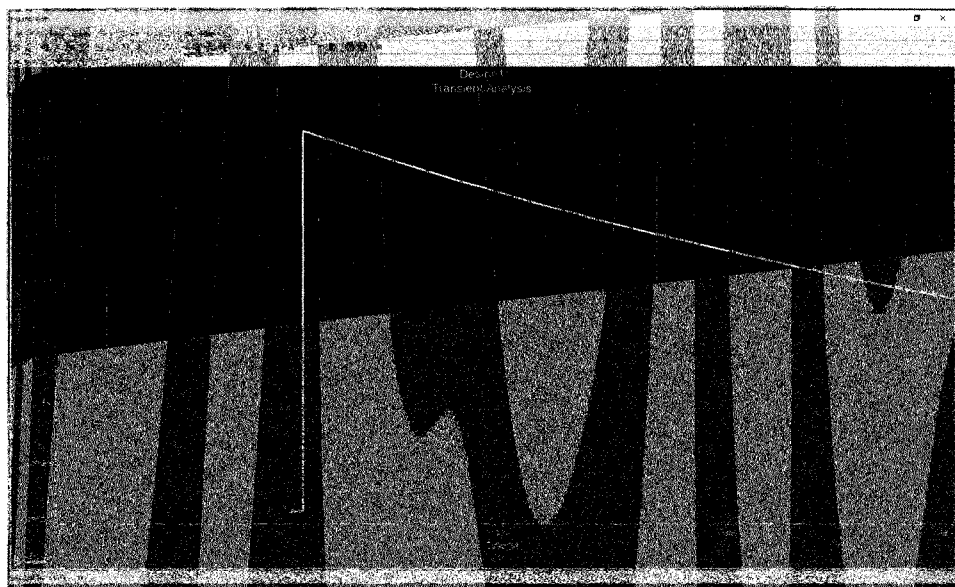
Рис. 6.4. Диалог настроек графика

момент скорость процесса постепенно замедляется. Попутно отметим, что работать с построителем графиков подчас удобнее, чем с осциллографом. Например, выделив в нижней части (*legend*) V(Probe1), наш пробник, двойным щелчком левой клавиши мышки по нему откроем диалог настройки, где мы можем изменить цвет графика и ширину линии (рис. 6.4).

Теперь график будет нарисован белой линией шириной в несколько единиц. Мы можем, используя инструментальную панель окна графики, увеличить или уменьшить график (иконки с увеличительным стеклом и значками плюс и минус), чтобы точнее разобраться с деталями (рис. 6.5). Предварительным щелчком левой клавиши мышки можно обозначить место, где мы ожидаем увеличение.

**Новичок:** Но раздел называется «Интегрирующая и дифференцирующая» цепь?

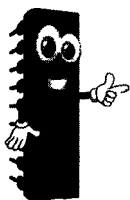
Так и есть. Просто с дифференцирующей цепью мы уже сталкивались, а теперь про интегрирующую цепь. Электрическая



**Рис. 6.5.** Увеличение масштаба графика

RC-цепь, которая есть не что иное, как фильтр низких частот, называется еще и **интегрирующей цепью**. Поменяем местами резистор и конденсатор и повторим анализ переходного процесса (*Transient Analysis*), заменив источник импульсным генератором (рис. 6.6).

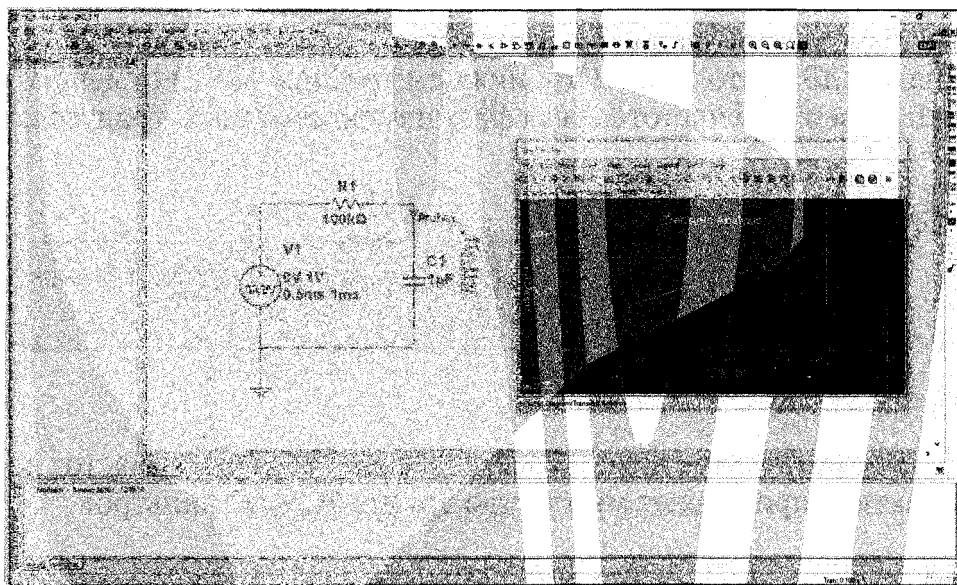
График показывает, что напряжение на выходе стремится к некоторому суммарному значению. А интеграл, как известно, некое суммарное значение и есть. Поэтому и цепь называют интегрирующей. Но, если вам не нравится такое название по какой-то причине, вы можете называть такую RC-цепь фильтром нижних частот.



#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ.

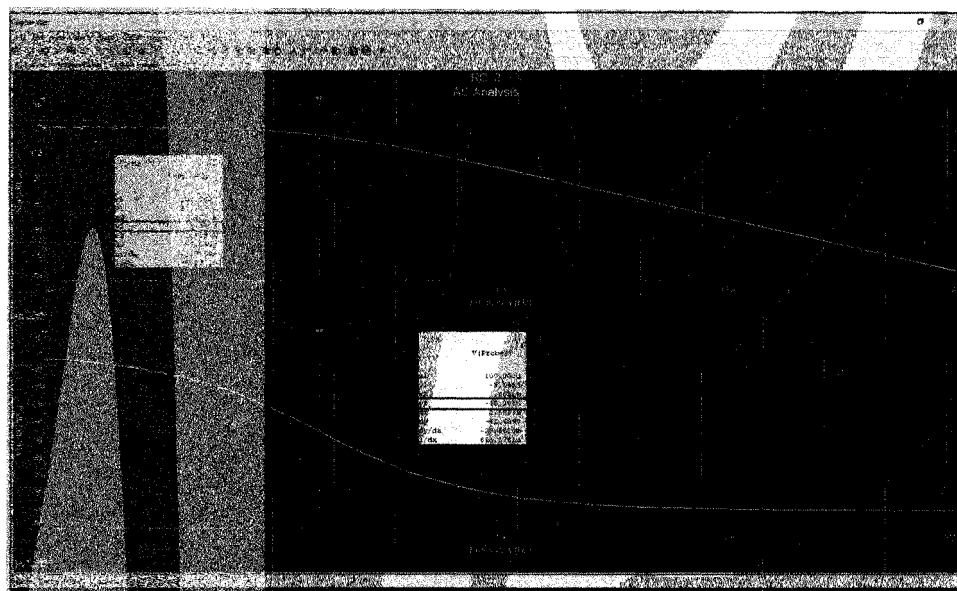
*Фильтр нижних частот – это фильтр, пропускающий сигнал с частотой ниже некоторой, называемой частотой среза или верхней граничной частотой.*





**Рис. 6.6.** Реакция интегрирующей цепи на импульсы

Чтобы подтвердить это, получим АЧХ этой цепи, уменьшив емкость конденсатора до 1 нанофарда и, вернув источник синусоидального напряжения, полосу частот зададим такой: 100 Гц — 1 МГц (рис. 6.7).



**Рис. 6.7.** АЧХ фильтра нижних частот

На верхнем графике частота среза определена по уровню спада 3 дБ, и это 1,6 кГц. На нижнем графике (ФЧХ) отмечено, что на верхней частоте среза фаза изменяется на 45 градусов.



### ЭТО ВАЖНО.

*Фильтры меняют фазу выходного сигнала относительно входного.*

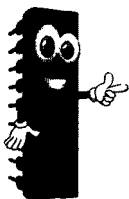
Кроме фильтра нижних частот и фильтра верхних частот на практике применяют множество других RC и LC фильтров.

## || Некоторые фильтры, применяемые на практике

В главе 4 мы говорили о нелинейных искажениях. Прибор, измеряющий коэффициент нелинейных искажений, вырезает с помощью **режекторного фильтра** основную частоту. По соотношению напряжений оставшейся части гармоник и основной частоты и определяется этот коэффициент.

В качестве примера более сложного фильтра рассмотрим такой, его называют **двойным Т-образным** (рис. 6.8).

В этот раз я не стал закрывать предыдущую схему и обращаться к менеджеру компонентов. Сохранив предыдущую схему, удалив ненужные соединения, я скопировал резистор командой *Copy* и добавил его дважды командой *Paste*: выделяем компонент, нажимаем правую клавишу мышки и из выпадающего меню выбираем нужную команду. Аналогичную процедуру я повторил с конденсатором.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*При копировании и вставке компонентов программа Multisim автоматически изменяет нумерацию компонентов.*

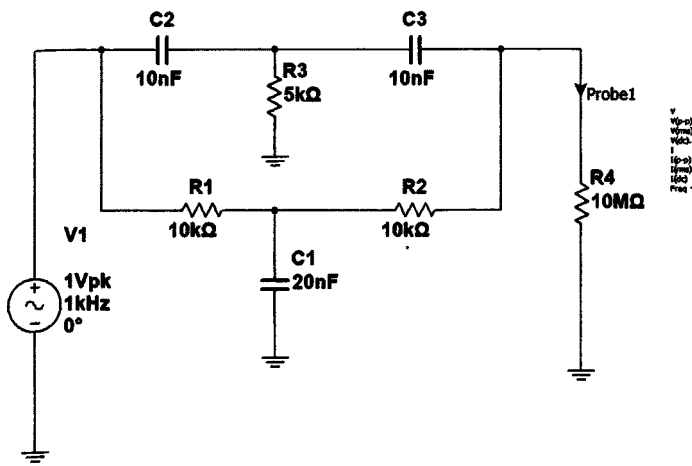


Рис. 6.8. Более сложный RC-фильтр

Диапазон частот для получения АЧХ и ФЧХ выберем 100 Гц — 100 кГц. С помощью маркеров отметим на графике амплитудно-частотной характеристики частоту максимального подавления, около 1,5 кГц, и вторую гармонику 3 кГц (рис. 6.9).

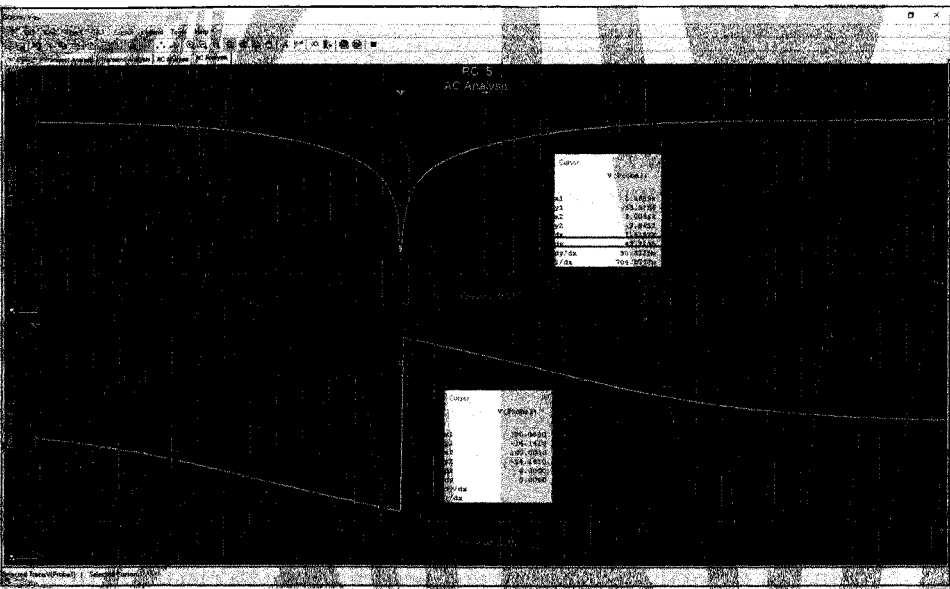


Рис. 6.9. Амплитудно-частотная характеристика режекторного фильтра

Разница в напряжении основной частоты и гармоник составляет 43 дБ. В некоторых случаях этого недостаточно. Тогда используют **активный фильтр**. В качестве активного элемента схемы часто применяют операционный усилитель. Это еще одно важное применение операционных усилителей (рис. 6.10).

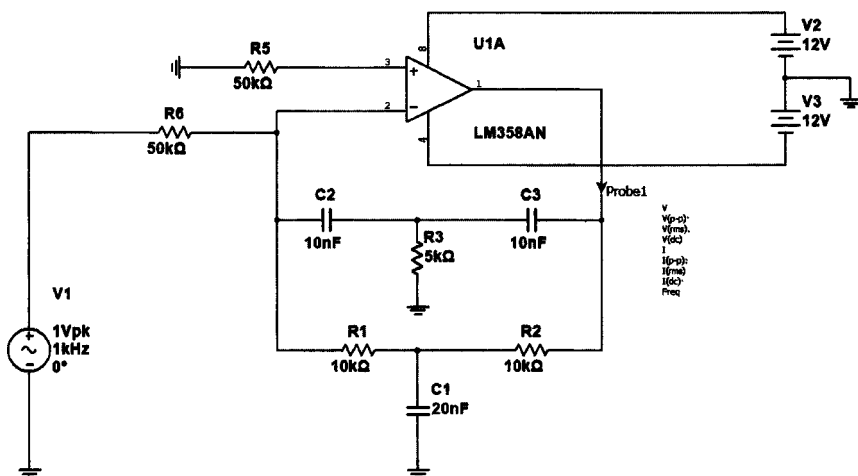


Рис. 6.10. Активный фильтр

Повторим построение АЧХ, оставив настройки прежними. Это позволит нам сравнить два фильтра (рис. 6.11).

Фильтр у нас получился не режекторный, а **избирательный**, но отношение основной частоты к первой гармонике (выделено в окне данных) стало равно 60 дБ. Это означает, что отношение напряжений основной частоты и первой гармоники равно 1000.

**Новичок:** А чем может быть полезен избирательный фильтр?

Заменим в схеме источник синусоидального сигнала источником прямоугольного сигнала (рис. 6.12). На входе мы имели прямоугольные импульсы, а на выходе почти синусоиду.

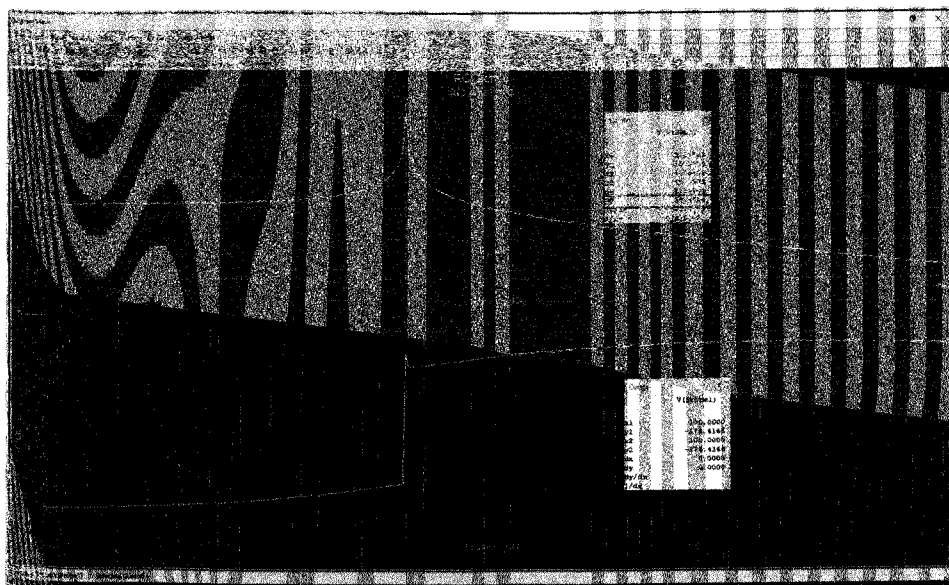


Рис. 6.11. АЧХ активного фильтра

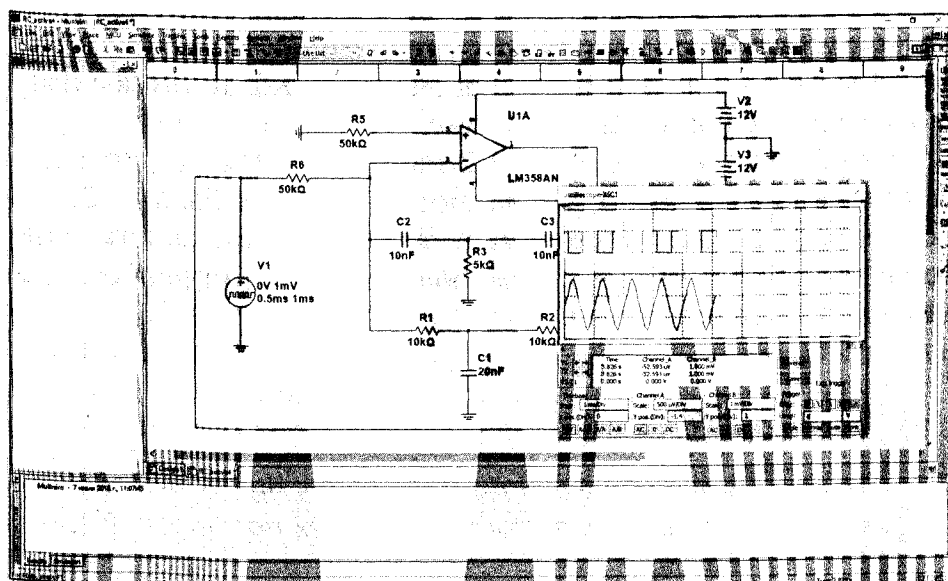
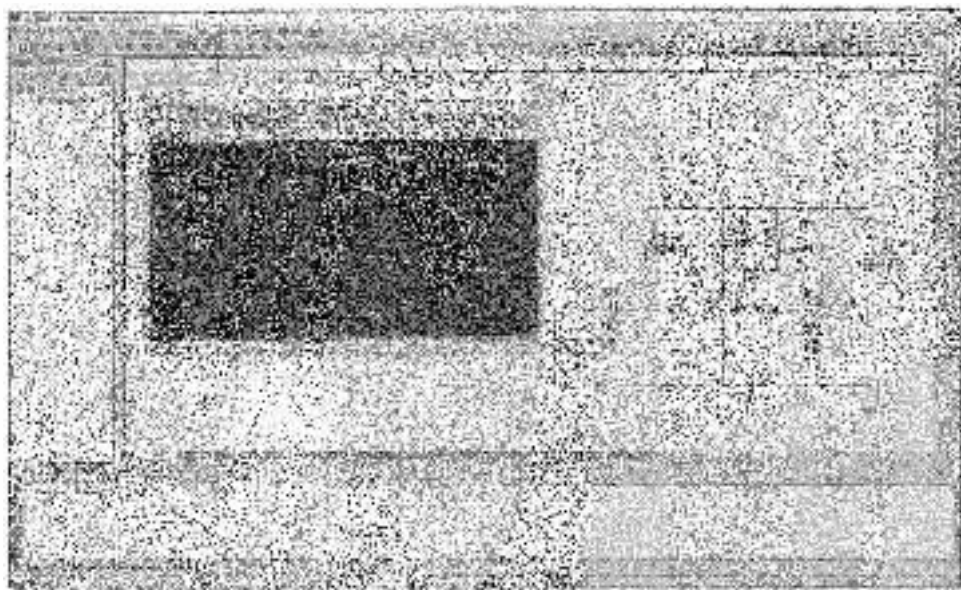


Рис. 6.12. Выделение основного сигнала из гармоник прямоугольного сигнала



**Рис. 6.13.** Каскад усиления промежуточной частоты

Избирательные фильтры активно применялись в усилителях промежуточной частоты радиоприемников и телевизоров. Такой каскад усиления можно рассматривать в качестве активного избирательного фильтра (рис. 6.13).

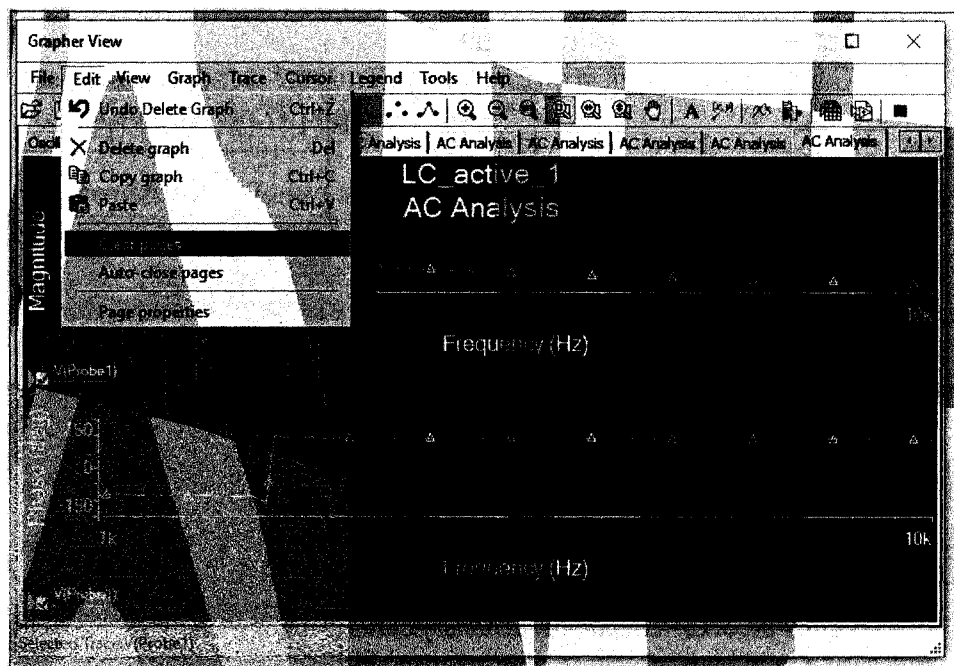
Колебательный контур  $L1C2$  настраивается на промежуточную частоту, которая в радиоприемниках была 465 кГц. Усиление каскада на одной частоте оказывалось достаточно большим, а остальные частоты, полученные при преобразовании радиосигнала, отсекались.



#### **ПРИМЕЧАНИЕ.**

*В окне графики можно видеть много закладок — это результаты предыдущих построений графиков.*

**Новичок:** А если они не нужны?



**Рис. 6.14.** Раздел удаления ненужных страниц графики

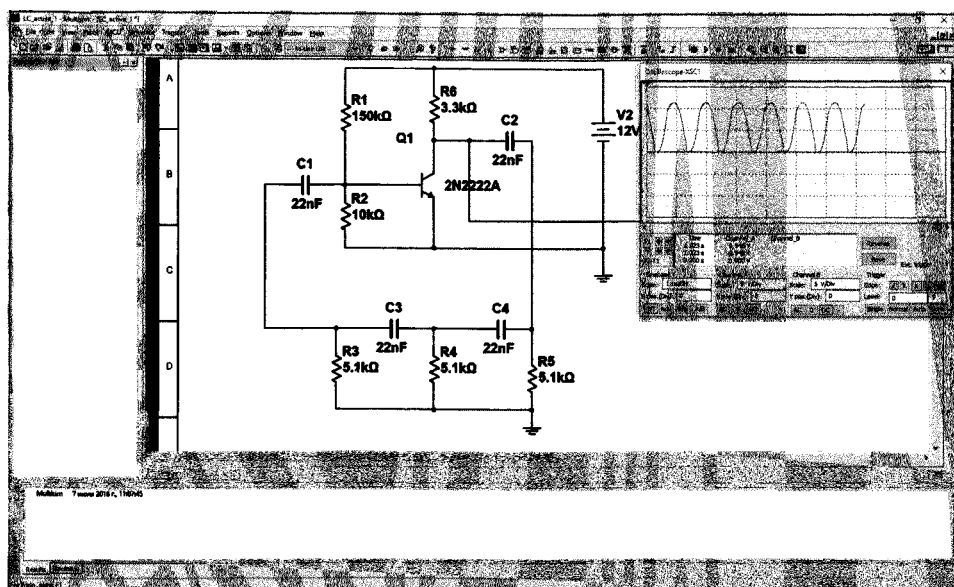
Если вам мешают оставшиеся от предыдущих анализов графики, их можно удалить. Используйте основное меню окна графики (**рис. 6.14**).

В открывающемся окне выбора ненужных графиков можно выбрать отдельные страницы, а можно нажать кнопку в нижней части диалога **Check All**, чтобы удалить все страницы.

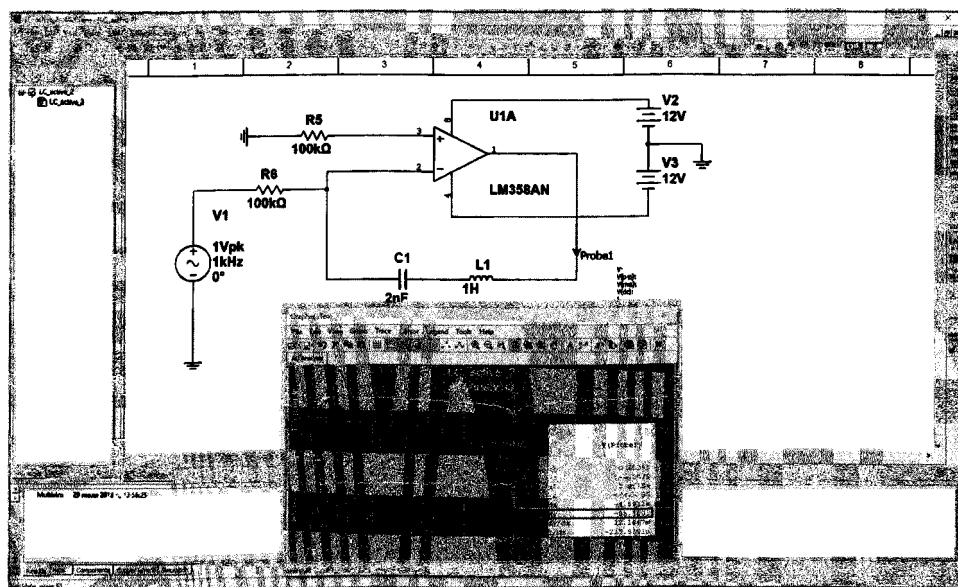
Долгое время RC-фильтры использовали для **коррекции тембра**. Позже, создавая полосовые корректирующие фильтры, в звуковых усилителях стали устанавливать **эквалайзеры**, чтобы можно было настроить звук, что называется, по вкусу.

Свойство RC-фильтров смещать фазу выходного сигнала относительно входного можно использовать для создания генератора синусоидального сигнала. Пример такого генератора представлен на **рис. 6.15**.

**Новичок:** Но обратная связь здесь отрицательная — с коллектора на базу. И как?



**Рис. 6.15.** Генератор, использующий RC-фильтр



**Рис. 6.16.** Активный режекторный фильтр, использующий LC-цепь



Да, но мы говорили про изменение фазы RC-цепей. Здесь изменение фазы превращает отрицательную обратную связь в положительную. Только и всего!

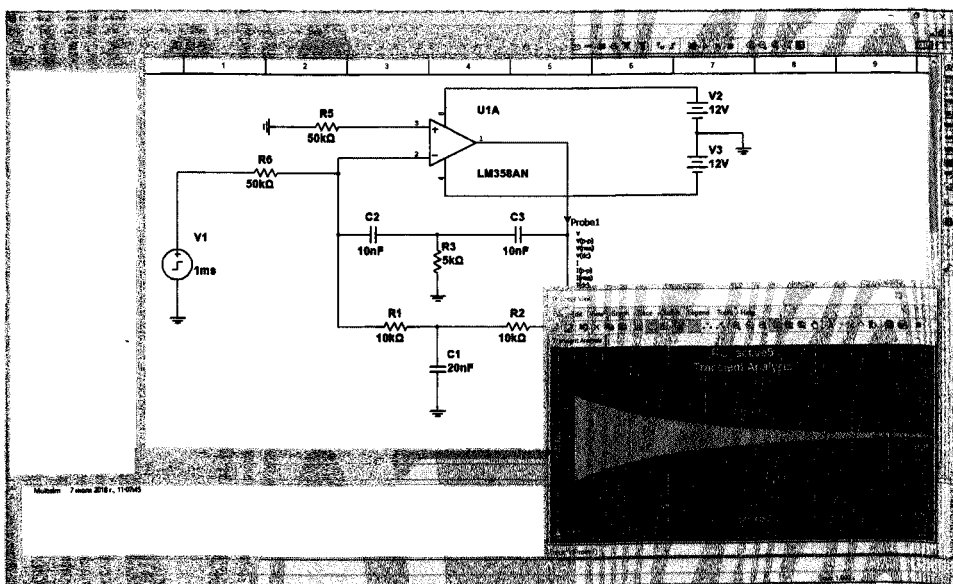
**Новичок:** *Ладно, а как же с активным режекторным фильтром?*

Можно представить такой вариант, если вспомнить LC-фильтр (рис. 6.16).

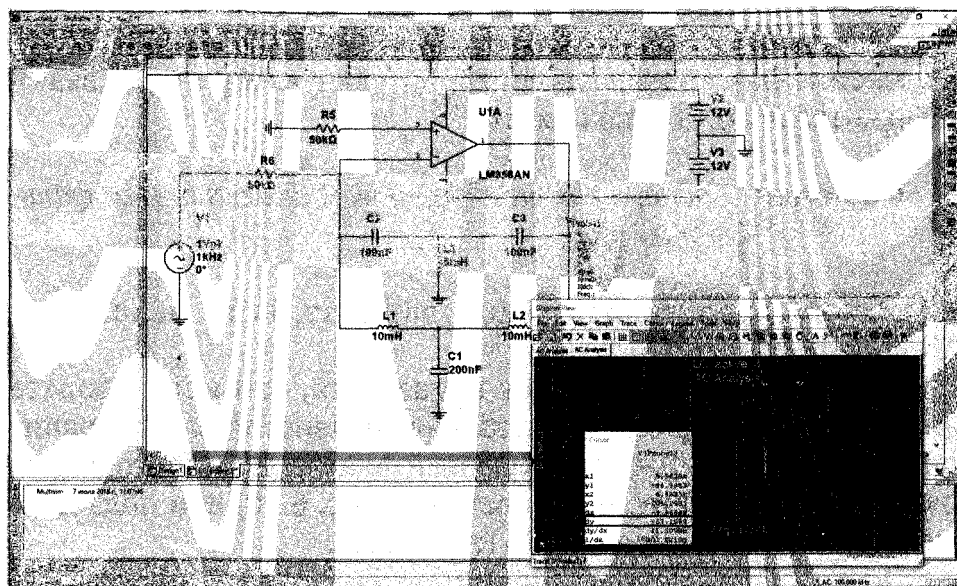
На первый взгляд может показаться, что использовать активные фильтры просто: добавил транзистор или операционный усилитель, получил активный фильтр. Но вот, что можно ожидать от избирательного фильтра (рис. 6.10) при подаче на вход напряжения «ступенька» (рис. 6.17).

Поэтому при использовании активного фильтра следует, в зависимости от его назначения, тщательно проверить его работу во всех режимах.

Математический аппарат расчета LC-фильтров давно и основательно развит. Сегодня такие фильтры рассчитывают с заранее выбранными характеристиками. Чтобы не углубляться



**Рис. 6.17.** «Звенящий» активный фильтр

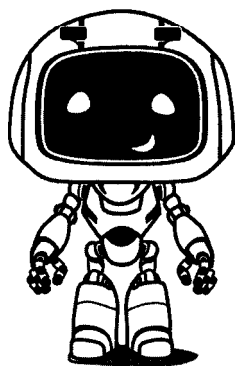


**Рис. 6.18.** Работа фильтра после замены резисторов индуктивностями

в тему расчета фильтров, заменим в схеме **рис. 6.10** резисторы фильтра индуктивностями. Посмотрим, что у нас получится (**рис. 6.18**).

**Новичок:** Я понял, после замены мы получили режекторный фильтр с затуханием большим, чем в случае последовательного резонансного контура (LC-цепи).

Когда-то индуктивность (дроссель) была неотъемлемой частью любого выпрямителя. Почему так, мы рассмотрим в следующей главе.

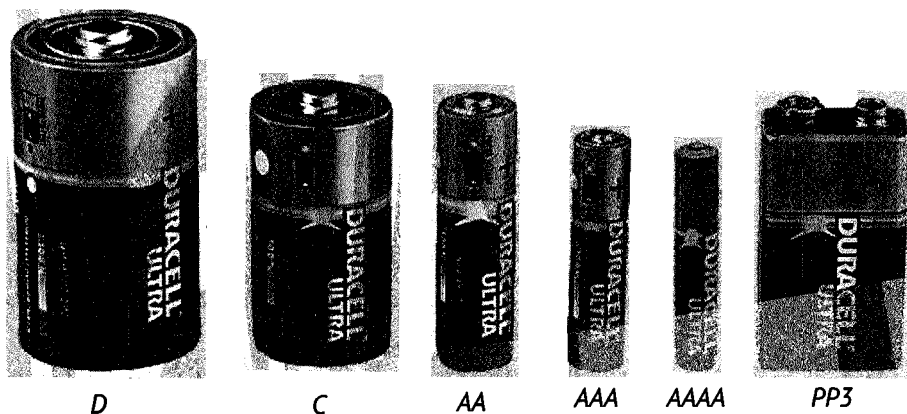


# ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

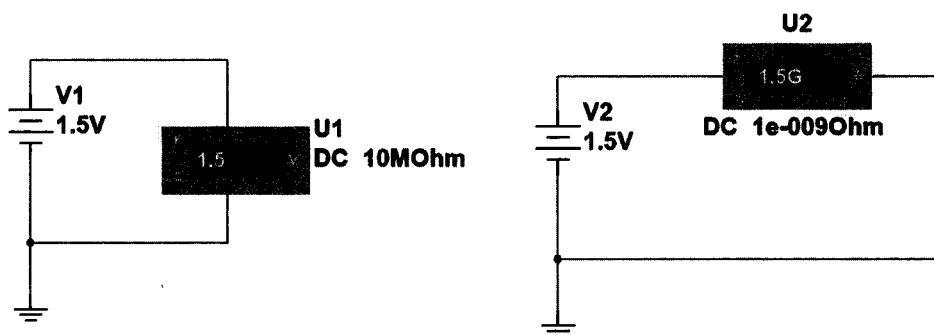
## Батарейки и аккумуляторы

Источник питания очень важный компонент любого электронного устройства. Для переносных устройств используют батарейки и аккумуляторы. В настоящее время широкое применение имеют батарейки следующих видов (рис. 7.1).

**Батарейки AA и AAA** используют во всех пультах управления телевизорами, кондиционерами, музыкальными центрами и т. д. Батарейки вида PP3 используются в мультиметрах и других приборах. Различают батарейки по их напряжению и емкости. Купив батарейки, их можно проверить. Для этого мультиметром следует проверить напряжение и ток (рис. 7.2).



**Рис. 7.1.** Наиболее употребительные виды батареек



**Рис. 7.2.** Проверка работоспособности батарейки

Напряжение свежей батарейки будет около 1,5 В. Но ток в 1,5 ГА, показанный на **рис. 7.2**, едва ли вы увидите. Реальный ток будет порядка 1—2 А.

**Новичок:** Почему же программа Multisim показывает такой ток?

Мы использовали **батарейки идеальные**, то есть, их внутреннее сопротивление равно нулю, а ток ограничивает сопротивление амперметра. **Реальные батарейки** имеют внутреннее сопротивление. И по мере разряда батарейки это внутреннее сопротивление растет. Поэтому у разряженной батарейки напряжение может оказаться меньше одного вольта, а ток, который обеспечит батарейка, только десятки миллиампер.



### СОВЕТ.

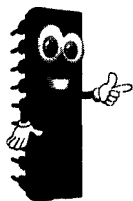
*Включая мультиметр для проверки тока батарейки, его следует поставить на диапазон максимального тока и касаться батарейки щупом лучше кратковременно.*

В группе *Sources* в разделе *POWER\_SOURCES* есть *NON\_IDEAL\_BATTERY*. Эта батарейка близка к реальной, поскольку имеет внутреннее сопротивление.

**Новичок:** *А зачем в некоторых схемах параллельно батарее установлен конденсатор?*

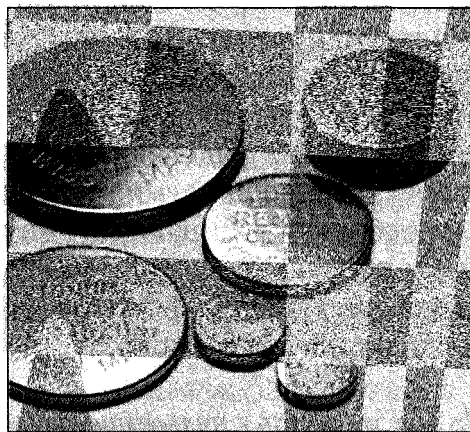
По мере разряда батарейки ее внутреннее сопротивление растет. А оно не должно участвовать в работе устройства. Поэтому значение емкости конденсатора выбирают таким, чтобы емкостное сопротивление было маленьким во всем рабочем диапазоне частот.

Сегодня батарейки есть совсем других типоразмеров, которые применяют в наручных часах, калькуляторах, компьютерах и других бытовых устройствах (рис. 7.3).



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

Многие из этих батареек для часов на самом деле аккумуляторы. Аккумуляторы отличаются от батареек, в первую очередь, тем, что аккумуляторы можно заряжать, а батарейки нельзя. Сегодня аккумуляторы могут иметь те же типоразмеры, что и батарейки, поэтому перед установкой аккумулятора в зарядное устройство нужно обязательно убедиться в том, что есть надпись — перезаряжаемый (rechargeable).



**Рис. 7.3.** Батарейки для часов и других бытовых приборов

Емкость аккумуляторов указывают в миллиампер/часах, например, 1500 мА/ч, что означает, ток 1,5 А аккумулятор будет отдавать в течение часа.

Аккумуляторы смартфонов и сотовых телефонов имеют достаточно большую емкость, отличаясь очень маленьким внутренним сопротивлением.



### ВНИМАНИЕ.

*Некоторые модели снабжают защитой от короткого замыкания, но с ними все-таки нужно обращаться осторожно: при коротком замыкании ток может расплавить металлический инструмент.*

## || Выпрямители и адаптеры

Ранее любой стационарный радиоприемник и телевизор имели блок питания, состоящий из трансформатора и выпрямителя. Вот пример выпрямителя (рис. 7.4).

После выпрямления ток (напряжение) остается переменным по величине (не по направлению). Такое напряжение называют еще **пульсирующим**. Поскольку питать устройство нужно постоянным напряжением, приходилось применять LC-фильтр. Все элементы блока питания рассчитывают, начиная с трансформатора, определяющим параметром будет потребляемая устройством мощность и требуемое напряжение.

Мост (диоды или сборку) выбирают по допустимому обратному напряжению и предельному току через диоды. Попутно проверяют мощность, рассеиваемую на диодах. При необходимости их устанавливают на радиаторы.

**Новичок:** Но как же быть с пульсациями?

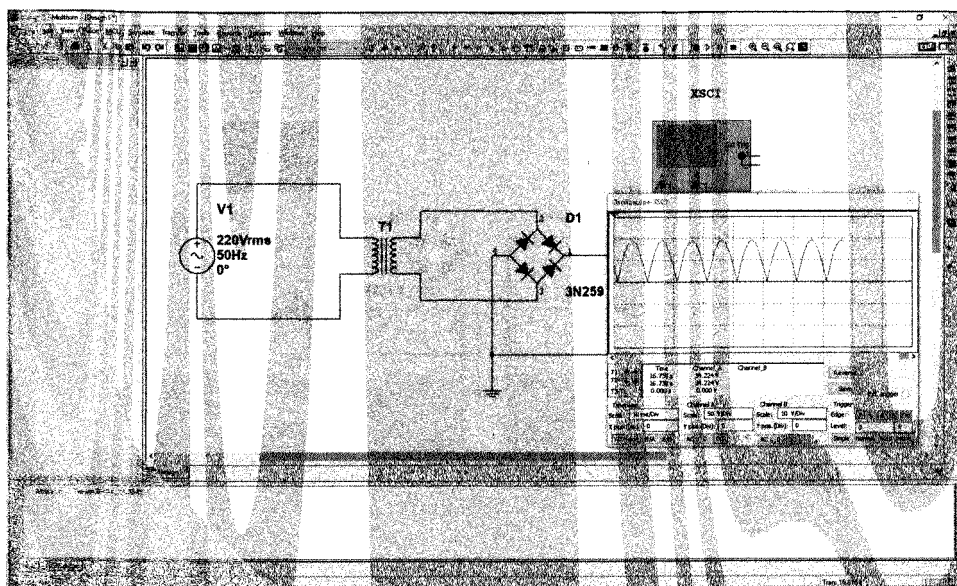


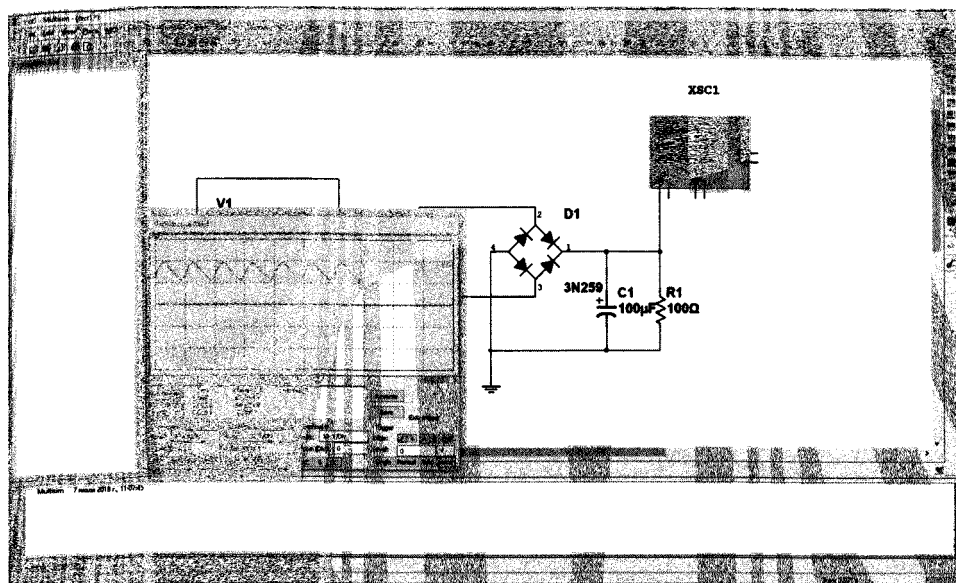
Рис. 7.4. Выпрямитель

Для борьбы с пульсациями в простейшем случае используют конденсатор, его емкость определяется током потребления. Как правило, это электролитический конденсатор (*Basic*→*CAP\_ELECTROLIT*). Добавление конденсатора уменьшает пульсации (рис. 7.5).

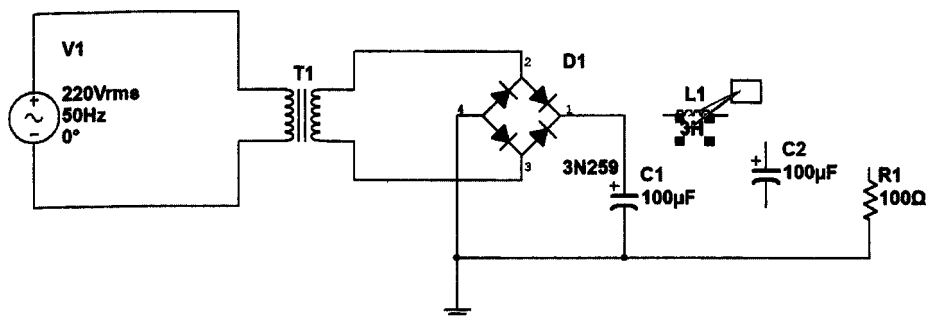
Напомню, при сборке схемы в программе Multisim в том случае, когда надписи мешают, например, провести соединение, их можно «подцепить» мышкой (удерживая левую клавишу) и перенести в другое место (рис. 7.6).

Значительно меньшие пульсации позволяет получить LC-фильтр, схема которого «собирается» на рис. 7.6. При нагрузочном сопротивлении 100 Ом величина пульсаций не более 300 мВ (рис. 7.7). Первоначально это значение было около 100 В. Индуктивность для такого фильтра (дроссель) выполняли с сердечником, имеющим зазор, поскольку через дроссель протекает постоянный ток, а зазор предохраняет дроссель от насыщения.

Сетевые адаптеры, скажем, блок питания ноутбука, часто выполняют по такой схеме.



**Рис. 7.5.** Пульсации на выходе выпрямителя с добавленным конденсатором



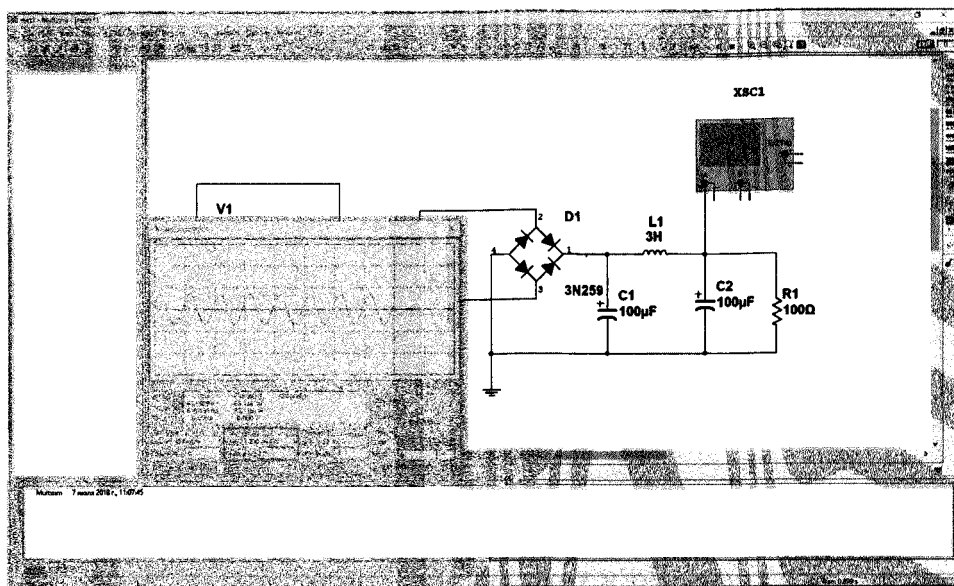
**Рис. 7.6.** Перенос надписи в другое место

**Новичок:** *И там тоже применяют LC-фильтр?*

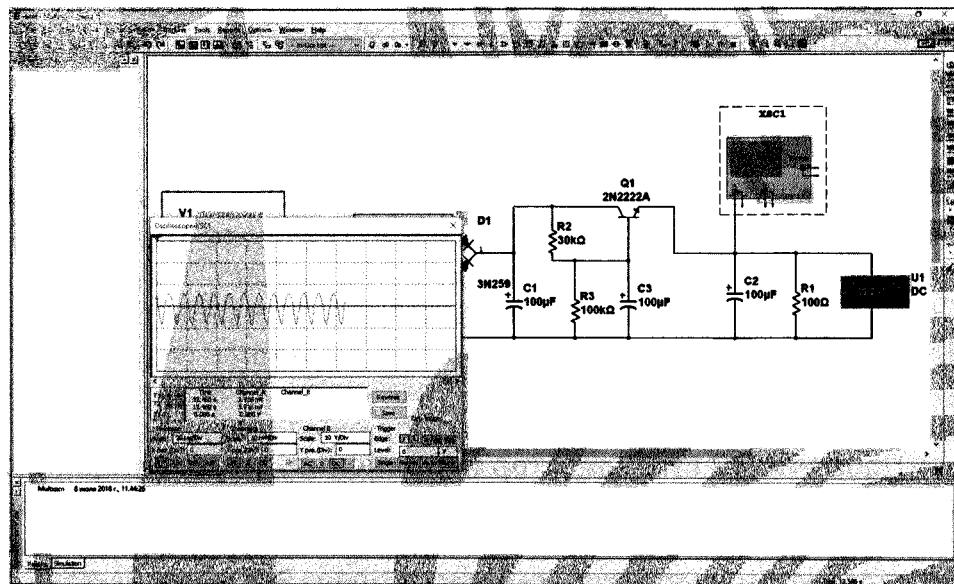
Не обязательно, поскольку адаптер подключается к аккумулятору ноутбука, который сам играет роль хорошего сглаживающего фильтра.

Дроссели активно применяли в ламповых схемах, требующих большого напряжения. Транзисторные устройства используют источники питания с напряжением в 5—30 вольт. Поэтому





**Рис. 7.7.** Пульсации на выходе блока питания с LC-фильтром



**Рис. 7.8.** Транзистор в роли дросселя

роль дросселя вполне может играть транзистор, который выбирают по допустимому напряжению и току (рис. 7.8).

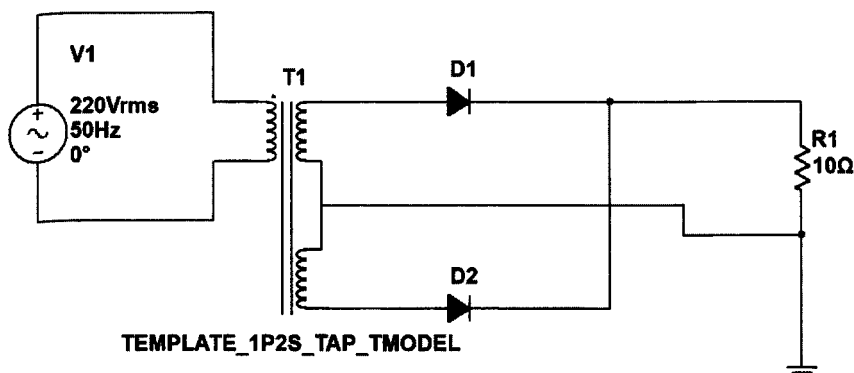


Рис. 7.9. Двухполупериодный выпрямитель

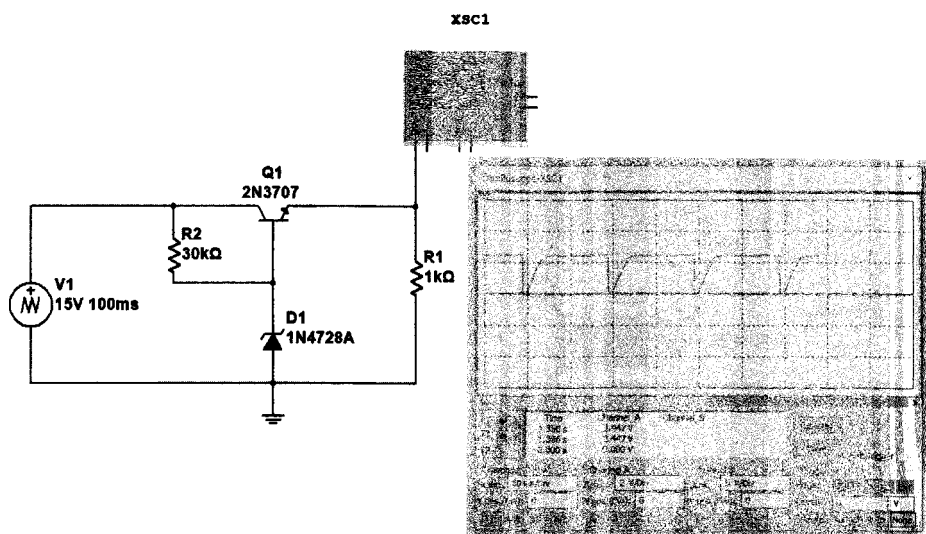
Выпрямитель в выше приведенных схемах блока питания из четырех диодов выполнен по **двухполупериодной** или **мостовой схеме**. Но в тех случаях, когда потребляемый ток большой, когда применяют мощные выпрямительные диоды, на них может рассеиваться большая мощность. В этом случае можно применить другую схему **двухполупериодного выпрямления** (рис. 7.9).

При установке диодов на радиатор такая схема выпрямления позволяет установить оба диода на один радиатор. Конечно, трансформатор для такой схемы выпрямления оказывается более сложным в изготовлении. Но не слишком сложным.

## || Стабилизаторы

Простейший стабилизатор напряжения, **диод Зенера**, он же **стабилитрон**, мы рассмотрели в **главе 3**. Но стабилитрон часто используют в качестве источника опорного напряжения в более сложных схемах стабилизаторов. Вот одна из таких схем (рис. 7.10).

В этом эксперименте использован **источник треугольного напряжения**. Напряжение источника линейно нарастает до того момента, когда начинает работать стабилизатор



**Рис. 7.10.** Схема параметрического стабилизатора напряжения

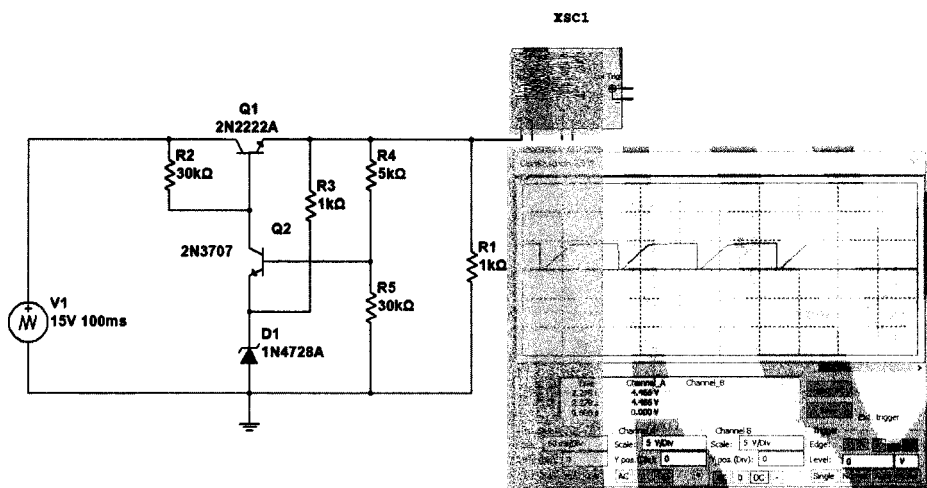
напряжения на транзисторе Q1. Далее напряжение остается постоянным, пока напряжение источника не станет слишком маленьким. Так стабилизатор напряжения реагирует на изменение входного напряжения.

**Новичок:** А нас-то интересует выходное напряжение, так?

Хорошо, предположим, что выходное напряжение (напряжение на R1) по какой-то причине уменьшилось. В результате увеличивается напряжение база-эмиттер транзистора Q1. Увеличение напряжения на базе транзистора приводит к увеличению тока через транзистор, то есть, транзистор открывается больше, чем было до изменения напряжения на выходе. Падение напряжения на транзисторе Q1 стало меньше, что равнозначно увеличению напряжения на R1 до предыдущего значения.

Во многих случаях простая схема параметрического стабилизатора напряжения полностью решает вопрос источника питания устройства.

**Новичок:** А почему параметрический?



**Рис. 7.11.** Компенсационный стабилизатор напряжения

Наверное, потому что выходное напряжение и ток определяются параметрами транзистора и стабилитрона. Но иногда от источника питания требуется большее. В таком случае выручает компенсационный стабилизатор напряжения (**рис. 7.11**).

В этой схеме напряжение на выходе стабилизатора будет регулироваться делителем напряжения R4R5. При изменении напряжения на выходе, поскольку напряжение эмиттера транзистора Q2 стабилизировано (стабилитрон D1), ток коллектора Q1 меняется, что приводит к изменению падения напряжения на резисторе R2, влияющее на напряжение эмиттер-база транзистора Q1. В итоге напряжение на выходе стабилизатора возвращается к ранее заданному значению.

Место транзистора Q2 с полным основанием может занимать операционный усилитель. А весь стабилизатор сегодня умещают в один корпус микросхемы, получая линейный стабилизатор напряжения (**рис. 7.12**).

Выходное напряжение линейного стабилизатора можно увеличить, добавляя резисторы:

- ♦ резистор между общим выводом микросхемы и землей;
- ♦ резистор между общим выводом микросхемы и выходом стабилизатора.

На **рис. 7.12** показана сама микросхема: три вывода, корпус как у транзистора, простое применение. Что может быть лучше?

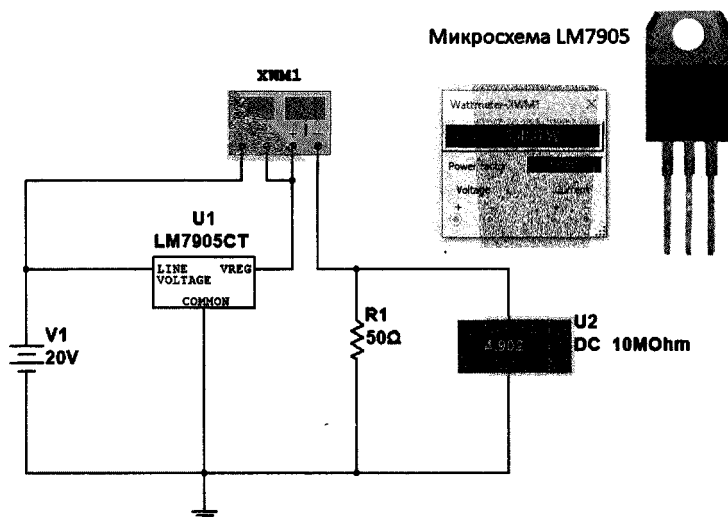


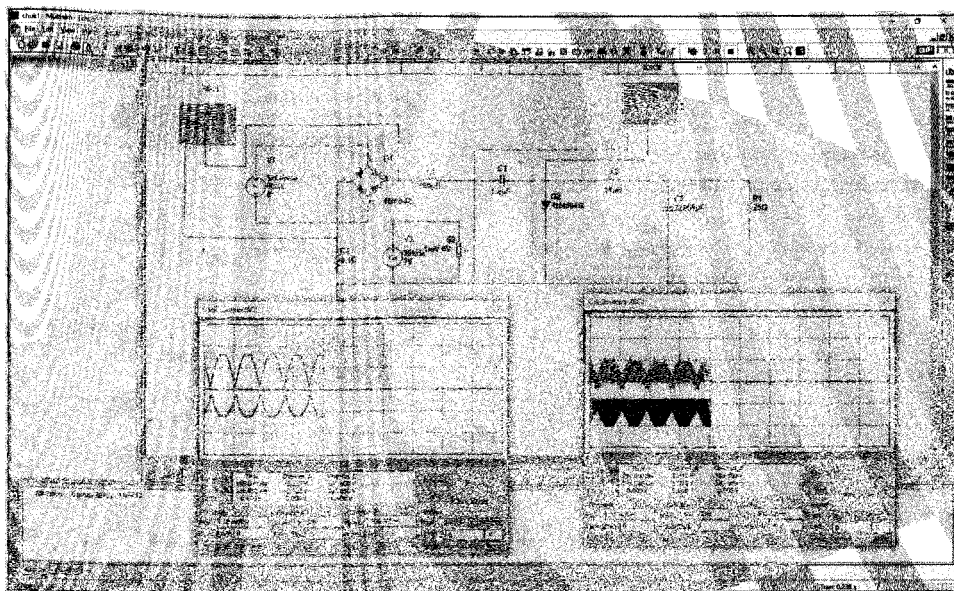
Рис. 7.12. Микросхема линейного стабилизатора напряжения

Однако у линейного стабилизатора есть один **недостаток** — необходимо достаточно большое падение напряжения между входом и выходом, что приводит подчас к большой рассеиваемой мощности на микросхеме. Этому недостатка лишены **импульсные стабилизаторы напряжения**.

## Преобразователи напряжения

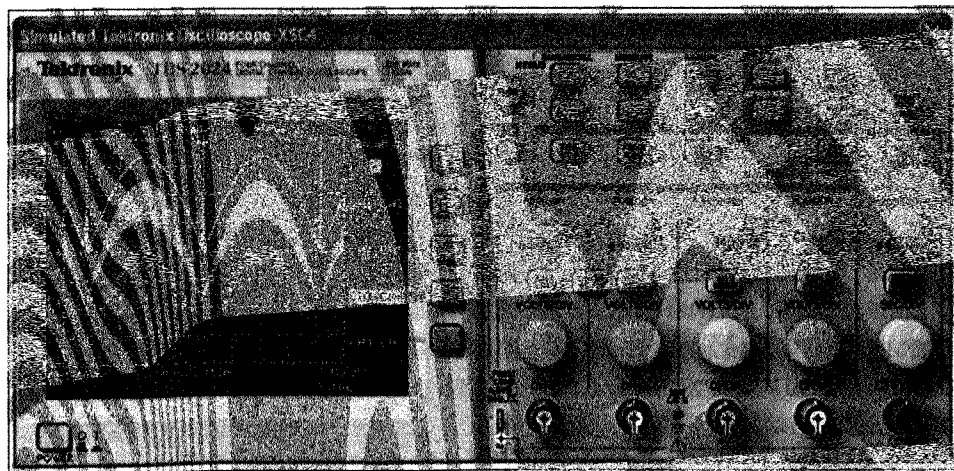
Когда-то, несколько лет назад, я получил e-mail от студента университета Бен-Гуриона (Израиль). Тогда он слушал курс лекций по импульсным преобразователям и моделировал работу преобразователя Чука, в том числе и в Multisim [7]. Сегодня, вспоминая эту историю, я не надеялся найти эту схему (рис. 7.13) в нашей переписке, но ошибся. Повторяя схему сегодня, я хочу с нее начать рассказ о преобразователях напряжения.

В качестве переключающего элемента использовано реле, управляемое напряжением. Чтобы его найти в списке ком-



**Рис. 7.13.** Преобразователь напряжения по схеме Чука

понентов программы Multisim, используйте поиск (кнопка **Search**), введя в строку поиска *voltage\_controlled\_spst\_animated*. В разных версиях программы можно найти разные приборы, мой давний знакомый использовал такой четырехканальный осциллограф (рис. 7.14).



**Рис. 7.14.** Осциллограф из версий Multisim

**Новичок:** А где такой осциллограф на схеме?

Я не нашел даже четырехканальный осциллограф, отчего решил использовать два двухканальных осциллографа.

В схемах, подобных вышеозначенной, используется реакция индуктивности на быстро изменяющееся напряжение. Вспомним, что обмотку реле, включаемого через транзисторный ключ, всегда шунтировали диодом (рис. 7.15).

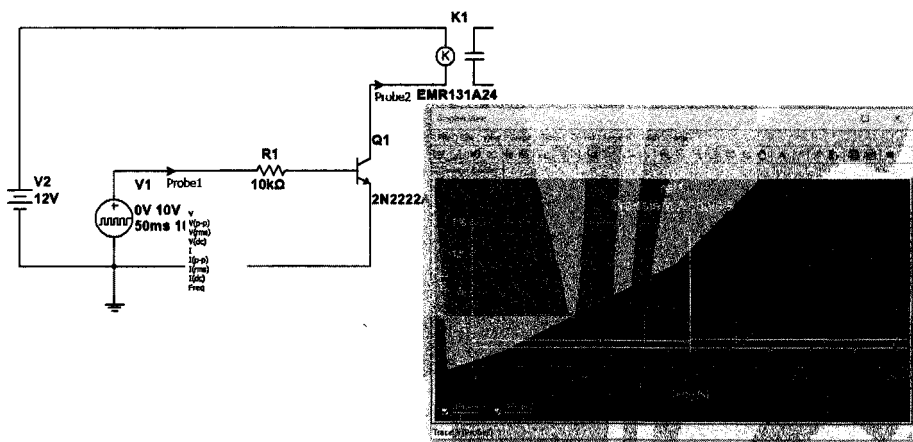


Рис. 7.15. Схема включения реле через транзисторный ключ

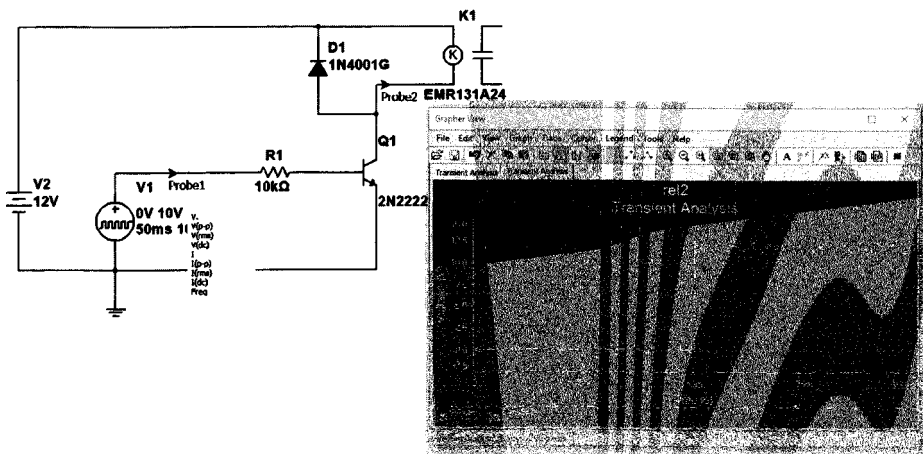


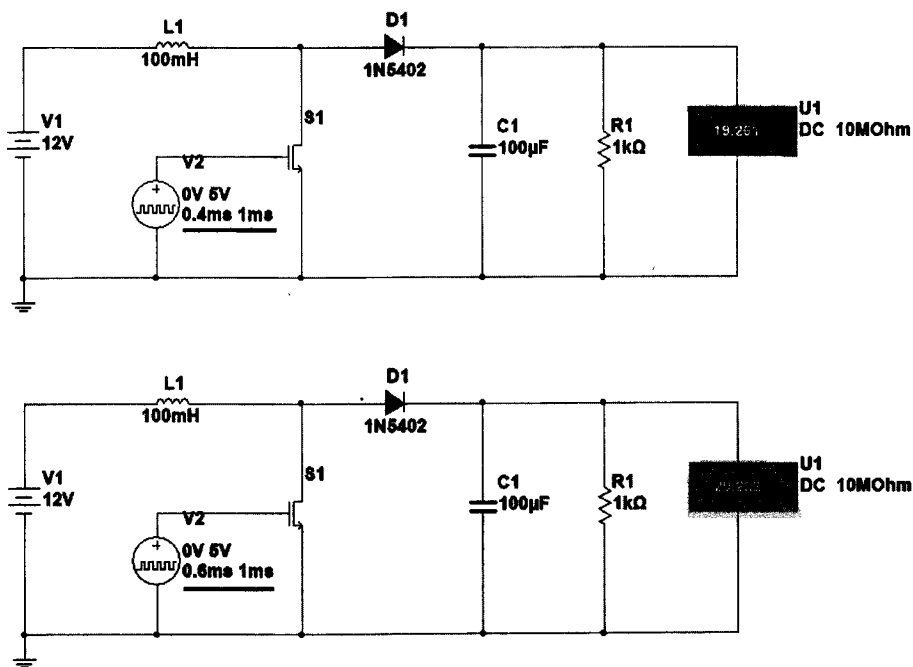
Рис. 7.16. Шунтирование обмотки реле

График демонстрирует, что на 50 микросекунд, когда меняется напряжение задающего генератора V1, на коллекторе транзистора появляется выброс напряжения, существенно превышающего предельно допустимое значение напряжения эмиттер-коллектор. Зашунтируем обмотку реле диодом (рис. 7.16).

**Обмотка реле** — это катушка индуктивности, на которой появляется противоЭДС при переключении. Шунтирование обмотки диодом снимает проблему. Но этот эффект используют в преобразователях.

**Новичок:** *И преобразователи повышают напряжение?*

Не обязательно, преобразователи постоянного напряжения в постоянное могут быть **повышающими**, а могут быть **понижающими**. Полярность выходного напряжения может меняться на обратную. Вот схема **повышающего преобразователя** (рис. 7.17), с которым мы проделаем эксперимент:



**Рис. 7.17.** Повышающий преобразователь DC/DC



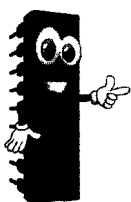
изменим длительность импульсов источника прямоугольных импульсов (двойной щелчок по символу, диалог свойств источника).

Несомненно, как и любая схема, преобразователь напряжения рассчитывается, но опыты в программе Multisim позволяют лучше понять, как элементы схемы преобразователя влияют на его работу.

В качестве переключателя S1 используется компонент, который можно найти в диалоге менеджера, если выбрать:

*All groups → SWITCHES → TRANSISTOR.*

Предположим, что мы будем отслеживать выходное напряжение, имея возможность менять длительность импульсов генератора V2, в этом случае мы получим импульсный стабилизатор напряжения.

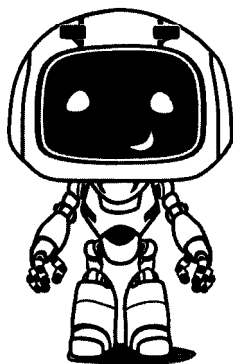


#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Импульсные стабилизаторы напряжения имеют то преимущество, что их КПД очень высокий, позволяющий использовать стабилизаторы без громоздких радиаторов.*

Сегодня производители микросхем предлагают большой выбор преобразователей напряжения, на что любителям следует обратить внимание.

Современные зарядные устройства для мобильных телефонов и смартфонов, зарядные устройства для автомобильных аккумуляторов используют преобразование напряжения. Благодаря этому устройства становятся легкими и компактными.



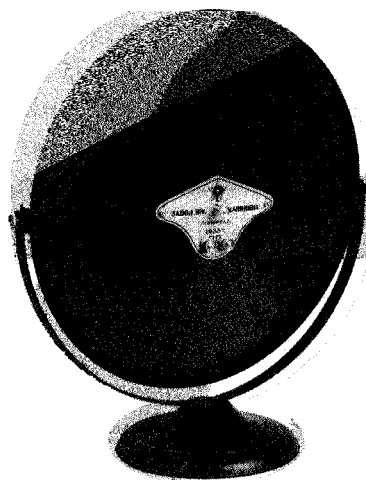
# ВЕЩАНИЕ

## || Проводное вещание

Старшее поколение, наверное, помнит репродукторы (рис. 8.1), включенные в городскую радиосеть: Производственная гимнастика, Пионерская зорька, радиопостановки... Особенно, если простуда позволяла не ходить в школу.

Такая радиосеть имела достаточно простую конструкцию: мощный усилитель звуковой частоты с выходным напряжением порядка 120 вольт, провода от дома к дому, понижающий трансформатор на крыше дома, от которого провода расходятся по квартирам. Поскольку дети имеют привычку к экспериментам: что будет, если настольную лампу включить в радио розетку, — и вилка, и розетка радиосети отличались размерами так, что настольную лампу не включить. Но и предохранитель, на всякий случай, у понижающего трансформатора был.

Похожим образом устроено оповещение на стадионах, в парках, когда-то в домах культуры (вспомните кинофильм «Карнавальная ночь»!). Схема сети оставалась такой же, но использовали менее мощные ламповые усилители (рис. 8.2),



*Рис. 8.1. Репродуктор для радиосети*

а на столбах вешали рупорные громкоговорители, «колокольчики» (рис. 8.3).

Электронные лампы долгое время были незаменимы в усилителях (используются они и сегодня). Работа усилительной электронной лампы казалась гораздо понятнее, чем работа транзистора (рис. 8.4).

Зачастую у лампы был еще один элемент — **нить накала**. При подведении к нити накала напряжения порядка 6,3 В она разогревалась так, что разогревала катод лампы. Электроны в металле катода получали дополнительную энергию, позволяющую им покинуть металл. Под действием электрического поля между анодом и катодом, благодаря источнику питания V2, электроны двигались, образуя ток, падение напряжения которого на резисторе нагрузки R2 было выходным напряжением.

**Новичок:** А зачем нужен резистор R3?

Ток через лампу создает на резисторе R3 падение напряжения. Через резистор R1 это падение напряжения прикладывается к сетке лампы, уменьшая ток. Теперь источник сигнала, в нашем случае V1, воздействует на сетку, управляя анодным током лампы. На рис. 8.4 видно, что сигнал с амплитудой 1,4 В на входе лампы превращается в сигнал с амплитудой 10 В на выходе.

Согласитесь, что такое описание работы усилительной электронной лампы понятнее описания работы полевого транзистора.

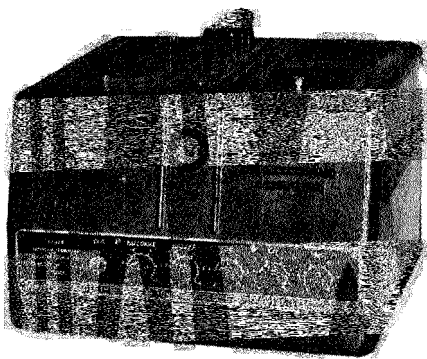


Рис. 8.2. Усилитель мощности 50 Вт

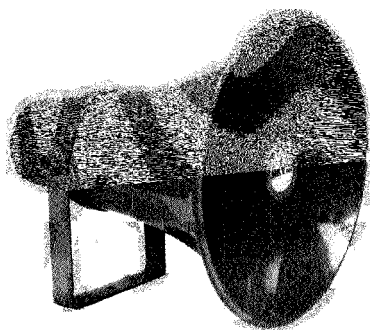
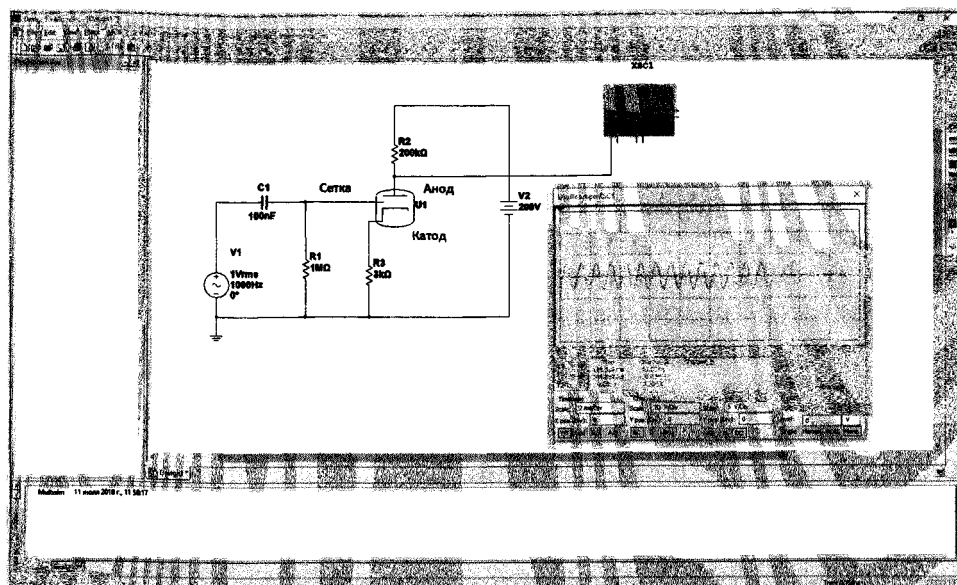


Рис. 8.3. Уличный громкоговоритель



**Рис. 8.4.** Трехэлектродная усилительная лампа

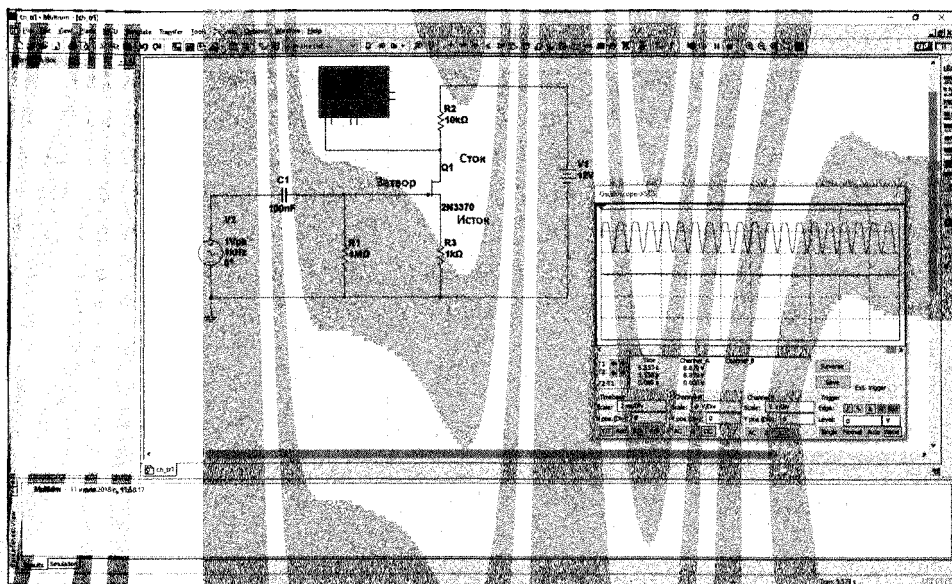
### **Новичок:** Почему полевого?

Полевой (или канальный) транзистор подобно лампе управляется напряжением на затворе транзистора (**рис. 8.5**).

Ток, протекающий от истока к стоку полевого транзистора, создает падение напряжения на резисторе нагрузки R2 и на резисторе R3. Падение напряжения на последнем создает «запирающее напряжение» на затворе транзистора. Сигнал источника меняет это напряжение, которое управляет током от истока к стоку. Такое объяснение похоже на то, что было предложено для электронной лампы. Но...

### **Новичок:** Я понял, но что происходит внутри транзистора?

Да, дело в конструкции полевого транзистора. Она такова, что между истоком и стоком находится полупроводник, скажем, n-типа. Затвор выполнен из полупроводника другого типа. На границе раздела образуется **заряженная область** (как у диода). При наличии напряжения между затвором и истоком



**Рис. 8.5. Работа полевого транзистора в качестве усилителя**

эта заряженная область становится шире (или становится уже при уменьшении напряжения), при этом канал от истока к стоку будет уже, а ток через транзистор меньше.

На **рис. 8.5** видно, что входное напряжение сигнала напряжением 1 В превращается в напряжение с амплитудой 5 В на выходе. Там же видно, что выходной сигнал искажен, что стало следствием случайного выбора номиналов резисторов вместо расчета каскада.

**Новичок:** А почему у полевого транзистора нет тока базы... затвора?

Вспомним, что на границе раздела появляется электрическое поле, которое препятствует прохождению тока через затвор к истоку. Но, конечно, если изменить полярность напряжения на затворе, то ток появится, а нужно ли это нам? И еще, наличие канала, по которому протекает ток от истока к стоку, объясняет второе название таких транзисторов — канальные транзисторы.

По мере совершенствования технологии производства полевых транзисторов появились **транзисторы с изолированным затвором**, существенно увеличилась верхняя рабочая частота полевых транзисторов, и улучшились другие их характеристики. Сегодня полевые транзисторы вытесняют биполярные во многих сферах применения последних. У полевых транзисторов зачастую лучше переходные характеристики, а их стоимость сравнялась со стоимостью биполярных транзисторов.

## || Амплитудная модуляция и не только...

Проводное вещание появилось давным-давно. Но и сегодня, заглядывая в счет, присылаемый ЖКХ, я вижу оплату радио и оповещения, хотя радио розетку мы сняли при ремонте квартиры. Когда-то по проводам передавали только одну программу. Позже стали передавать три программы. Многие помнят **трехпрограммники** (рис. 8.6).

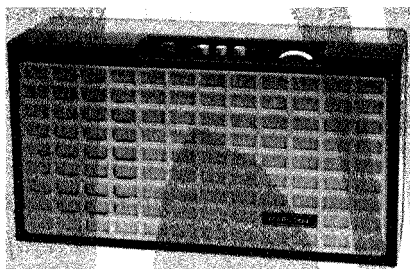
**Новичок:** *А как по двум проводам научились передавать три программы?*

Использовали тот же прием, что и в беспроводном радиовещании — амплитудную модуляцию с использованием несущей частоты выше звукового диапазона.

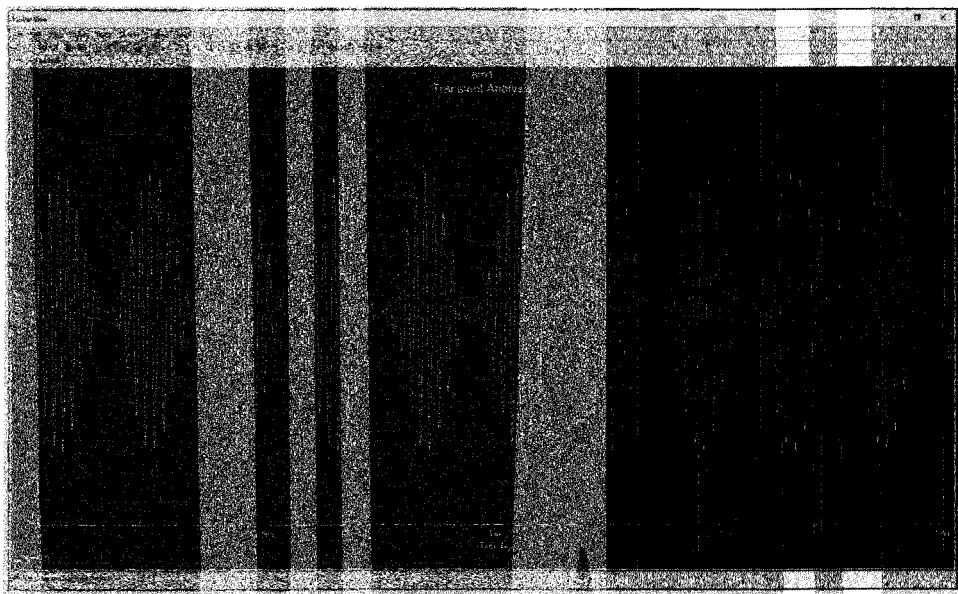
Синусоидальный сигнал можно описать так:

$$f(t) = A \sin(2\pi f t + \varphi_0)$$

Здесь  $A$  — амплитуда,  $f$  — частота,  $\varphi_0$  — начальная фаза. Каждый из этих параметров можно использовать для преоб-



**Рис. 8.6.** Трехпрограммный приемник для проводной сети

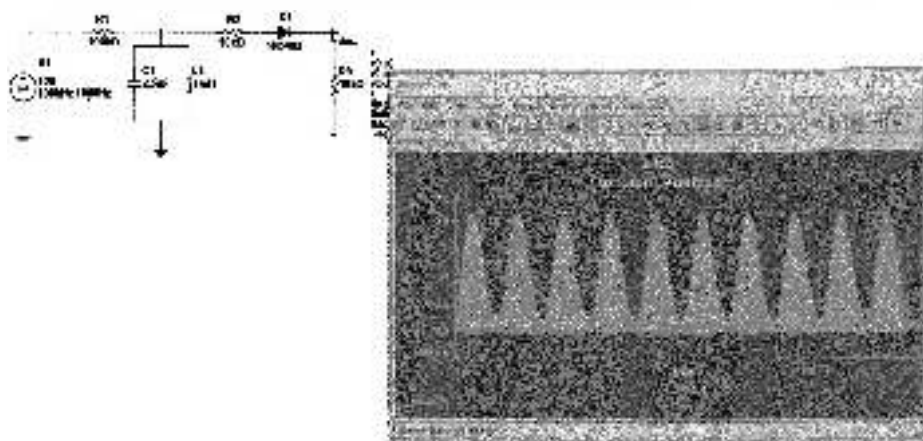


**Рис. 8.7.** Амплитудно-модулированный сигнал

разования в модулированный высокочастотный сигнал. Мы уже сталкивались с преобразованием для усилителя класса D звукового сигнала в модулированный широтно-импульсный сигнал. Амплитудно-модулированный сигнал выглядит, как показано на **рис. 8.7**.

На амплитуду генератора несущей частоты воздействуют информационным сигналом так, что получается амплитудно-модулированный сигнал. Да, для трехпрограммника это потребовало дополнительной схемы выделения высокочастотного (по отношению к звуковому) сигнала и преобразования его к звуковому сигналу. Но фиксированная частота второй и третьей программ существенно упростили схему, добавилось два колебательных контура и детектор для выделения информационного сигнала (**рис. 8.8**).

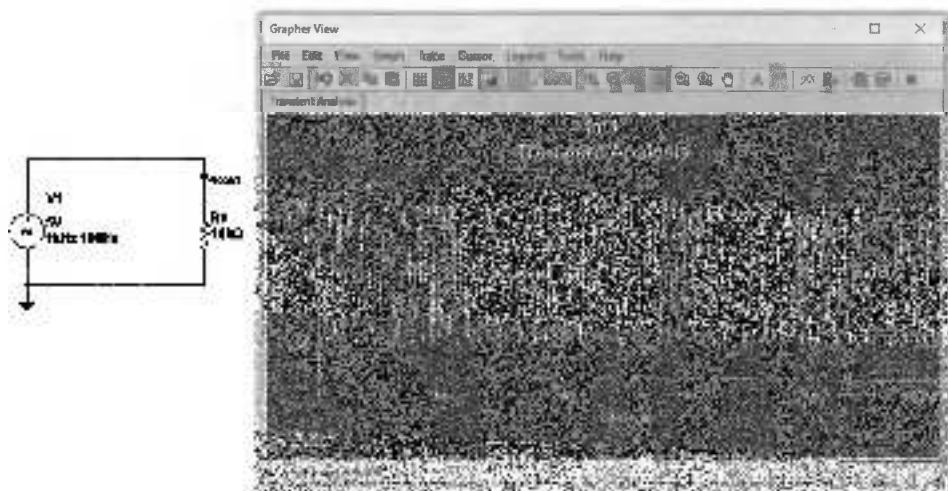
Конечно, не обойдется без усилителей, но громкоговоритель небольшой мощности, как правило, 0,25 Вт существенно упрощает задачу. Несущая частота не будет слышна, но ее стремятся с помощью фильтра устранить после детектирования.



**Рис. 8.8.** Выделение информации при амплитудной модуляции

**Новичок:** Но так же работает и радиоприемник, да?

Да, аналогичный амплитудно-модулированный сигнал применяют при беспроводном вещании. Правда, есть один **недостаток**: полоса рабочих частот для одной вещательной станции при частоте несущей в нескольких сот килогерц или десятка мегагерц остается слишком широкой (в сравнении с диапазоном доступных частот). Поэтому для увеличения коли-



**Рис. 8.9.** Частотная модуляция информационного сигнала



чества радиостанций полосу частот информационного сигнала (звукового сигнала) приходилось ограничивать в ущерб качества звука.

Эту проблему решили при переходе радиовещания к более высоким частотам (в десятки и сотни мегагерц) и использования частотной модуляции (рис. 8.9).

Программа Multisim позволит вам провести эксперименты с АМ и ЧМ сигналами; например, попробуйте восстановить исходный сигнал из частотно-модулированного сигнала. Сегодня очень многие радиостанции используют частотную модуляцию для вещания. Но у амплитудно-модулированного радиосигнала есть одно достоинство — дальность передачи сигнала.

**Новичок:** *А почему были только трехпрограммники, а не всепрограммники?*

Дело, в первую очередь, в том, что любые провода, проложенные рядом, имеют емкость, более того, они обладают индуктивностью, если не считать активное сопротивление. Такие параметры линий передачи называют **распределенными параметрами**. Посмотрим, какова амплитудно-частотная характеристика линии с потерями (рис. 8.10) в программе Multisim (рис. 8.11).

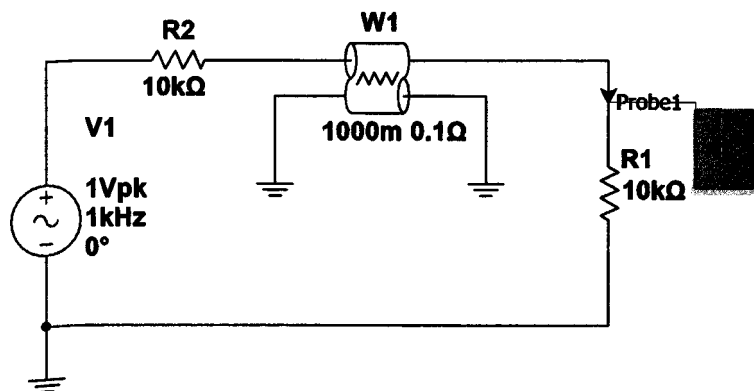


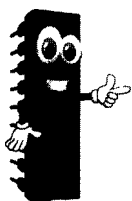
Рис. 8.10. Опыт с линией передачи данных в Multisim



*Рис. 8.11. АЧХ линии с потерями*

Спад характеристики по уровню  $-3$  дБ начинается с частоты около 30 кГц. Важным для линий оказывается вопрос согласования сопротивлений. Подразумевается согласование волнового сопротивления (есть такой параметр) линии с сопротивлением источника и приемника сигнала. Уменьшим сопротивление в примере рис. 8.10 резисторов R1 и R2 до 1 кОм. АЧХ линии в этом случае изменится (рис. 8.12).

Волновое сопротивление, например, телевизионного коаксиального кабеля 75 Ом, поэтому входное сопротивление антенного входа телевизора — тоже 75 Ом. А волновое сопротивление кабеля с витой парой, применяемой в компьютерной технике, — 120 Ом.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Три электрода у биполярного транзистора предполагают выбор из трех вариантов, какой электрод сделать общим.*

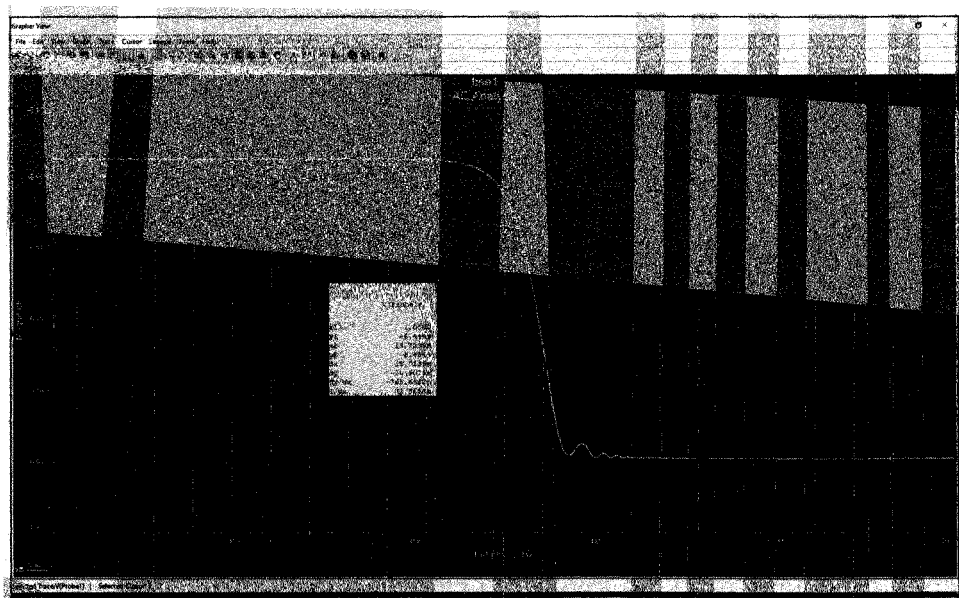


Рис. 8.12. АЧХ линии при сопротивлениях источника и приемника в 1 кОм

Низкое входное сопротивление антенного входа телевизора позволило применить входной каскад усиления с общей базой. Вспомним, какую форму имеет АЧХ каскада с общим эмиттером (рис. 8.13).

Каскад с общей базой имеет низкое входное сопротивление, но более высокую верхнюю граничную частоту. В справочных данных для транзисторов часто указывают верхнюю граничную частоту в схеме с общей базой. Обычно схему с общей

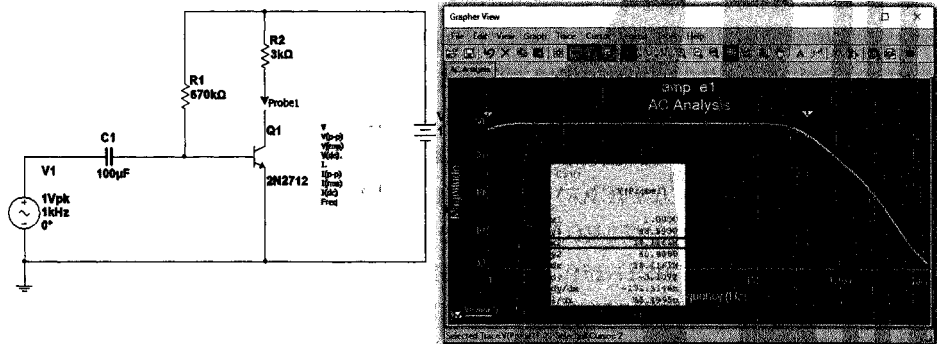
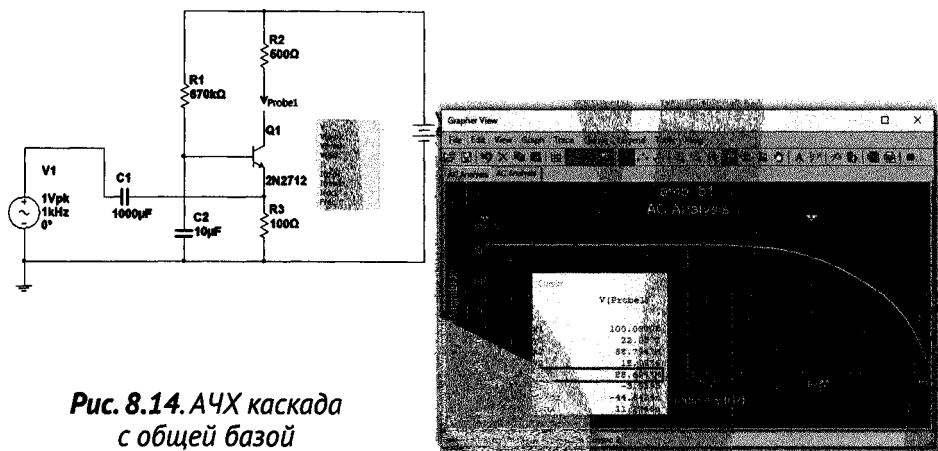


Рис. 8.13. АЧХ каскада с общим эмиттером



**Рис. 8.14.** АЧХ каскада с общей базой

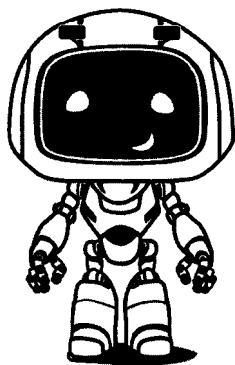
базой рисуют несколько иначе, чем на **рис. 8.14**, где мне хотелось показать больше сходства схемы с каскадом усиления с общим эмиттером.

Вдобавок к использованию схемы с общей базой во входном усилителе телевизора часто использовали обратную связь по постоянному току, подавая выпрямленное напряжение с выхода на базу первого транзистора. Транзистор выбирали из тех моделей, усиление которых сильно зависело от тока коллектора. В итоге получали автоматическое регулирование усиления (АРУ).

**Новичок:** А зачем автоматическое регулирование?

Такое регулирование было нужно по причине того, что изображение на экране телевизора сильно зависело от удаленности приемника от вещательного центра. Даже в пределах города только возле передающего телецентра можно было получить хорошее изображение на комнатную антенну, а на окраине города на экране появлялся «снег». Шумы сильно портили изображение, даже если изображение было. В городах применяли сложные антенны, установленные на крышах домов.

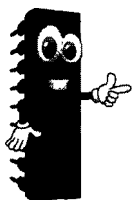
Вообще собственные шумы и помехи остаются одной из проблем аналоговой техники. Поэтому при создании вычислительных устройств был сделан выбор в пользу цифровой техники.



# ИМПУЛЬСЫ и ЦИФРЫ

## Цифровые микросхемы

В цифровой технике применяют сигналы двух уровней, низкого и высокого.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*В микросхемах транзисторно-транзисторной логики сигнал низкого уровня менее 0,5 В, а сигнал высокого уровня более 2,5 В. Питательное напряжение этой серии 5 В.*

Использование сигналов с таким хорошо различимым уровнем существенно повышает устойчивость устройства к шумам и помехам. А с помощью двух сигналов, один из которых низкого уровня означает ноль, а другой — высокого уровня, означает единицу, с помощью таких сигналов можно представить любое число.

**Новичок:** *Как это?*

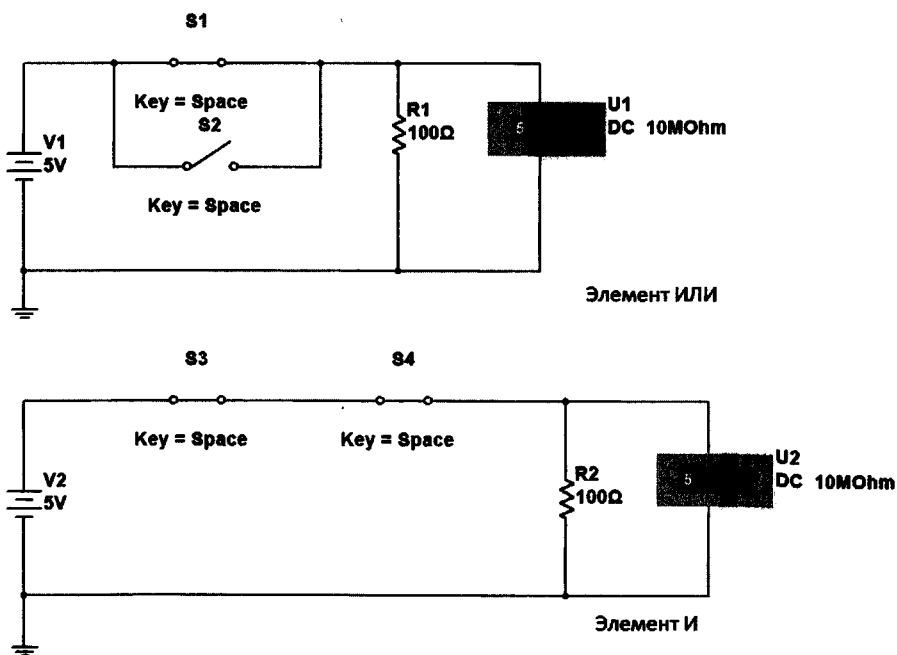
Например, десятичное число 12 будет представлено как 1100. Да, двоичная запись сильно отличается от привычной для

нас десятичной записи чисел, но двоичная система счисления сохраняет все операции с числами, к которым мы привыкли.

Серии цифровых микросхем создавались с целью сборки из них вычислительных устройств. Поэтому все серии в своем составе имеют большое количество моделей. В основе всех этих микросхем базовые элементы. Каковыми могут быть схемы «И», «ИЛИ», «НЕ». Происходит это в соответствии с законами булевой алгебры. Любую функцию в этом случае можно представить в виде суперпозиции базовых элементов. Функцию можно записать в словесной форме, табличной, алгебраической и графической. Часто используют табличное представление в виде **таблиц истинности**.

**Новичок:** *Таблиц чего?*

Таблиц истинности. О них чуть позже. Элементы «И» и «ИЛИ» легко понять, если использовать такую схему (рис. 9.1).



**Рис. 9.1.** Простое представление элементов «ИЛИ» и «И»

Первый элемент показывает, что высокий уровень на выходе будет тогда, когда замкнут или ключ S1, или ключ S2, или оба ключа. В схеме «И» высокий уровень на выходе появится тогда, когда и ключ S3, и ключ S4 замкнуты.

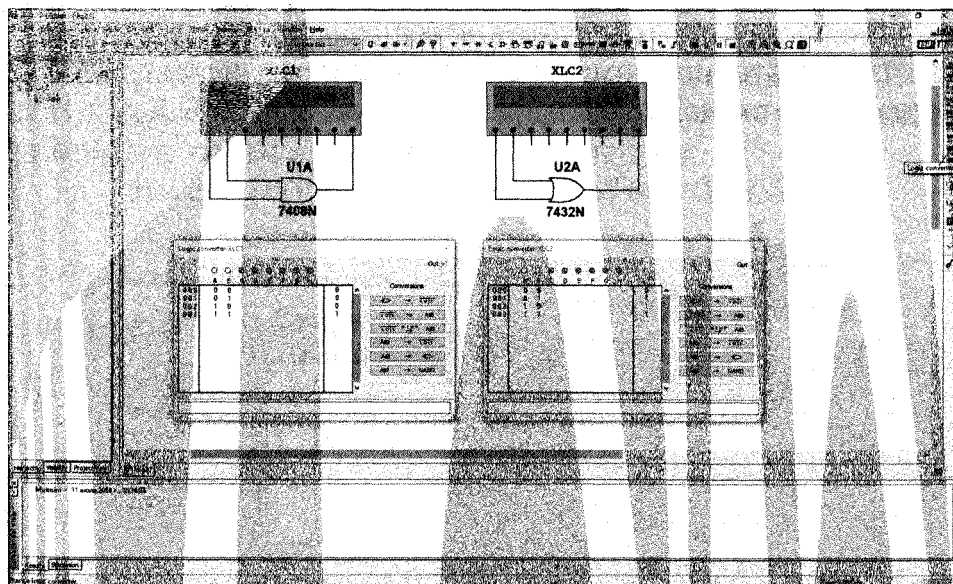
Элемент «НЕ» проще всего увидеть в транзисторном ключе: когда на базе транзистора высокий уровень, на его коллекторе (на выходе) низкий уровень.

В программе Multisim можно получить таблицы истинности, используя прибор (на панели приборов) *Logic converter* (рис. 9.2).

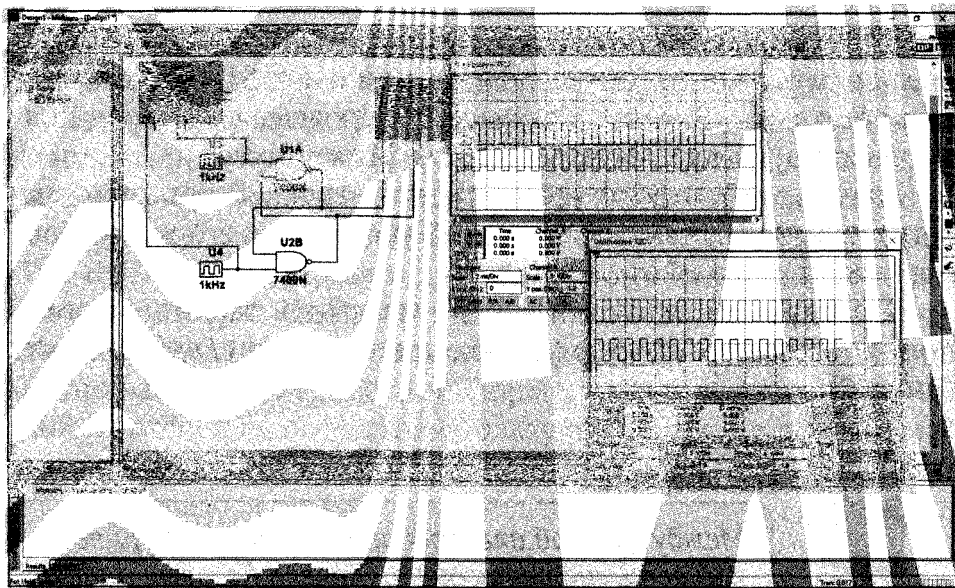


### ЭТО ВАЖНО.

*Между булевой алгеброй и математической логикой есть соответствие. Отчего базовые цифровые микросхемы имеют логические обозначения. А работу базовых цифровых микросхем описывают таблицы, где истина (высокий уровень) на выходе подчинена законам логики.*

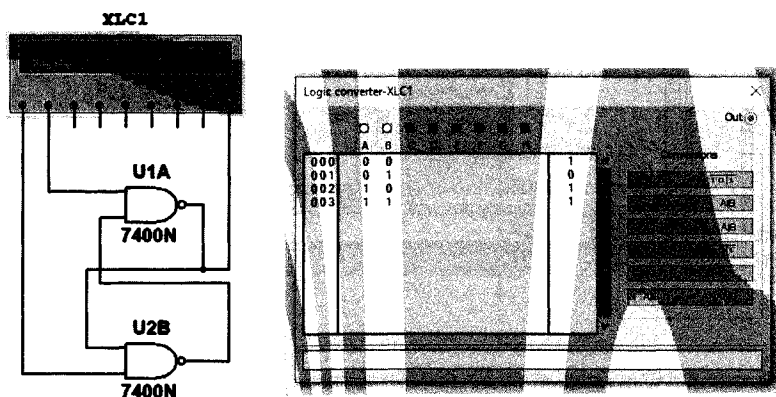


**Рис. 9.2.** Использование логического конвертера для получения таблиц истинности



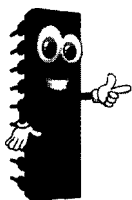
**Рис. 9.3.** Триггер из базовых цифровых элементов

С помощью базовых элементов легко собрать, скажем, **триггер**. Видимо, можно собрать и другие компоненты цифровых микросхем, но это требует не только времени, схема получается достаточно громоздкая. Триггер переключается тогда, когда на его входах сигналы разного уровня (рис. 9.3).



**Рис. 9.4.** Таблица истинности триггера из базовых элементов





### ПРИМЕЧАНИЕ.

Источники импульсов U3 и U4 можно найти в группе  
Sources→DIGITAL\_SOURCES→DIGITAL\_CLOCK.

Об этом же говорит и таблица истинности (рис. 9.4).

Компоненты серии 74 находятся в группе **TTL** (транзисторно-транзисторная логика).

## Динамические представители цифровых микросхем

Самым простым динамическим представителем цифровых микросхем может служить D-триггер. Он имеет:

- ♦ вход данных;
- ♦ вход управления (передним или задним фронтом импульса);
- ♦ два выхода, прямой и инверсный.

Есть еще два входа **предустановки**: сброс и установка. Если эти входы не используются, то на них подается 5 В. На схеме (рис. 9.5) к этим входам подключены константы, которые можно найти в менеджере компонентов:

Sources→DIGITAL\_SOURCES→DIGITAL\_CONSTANT.

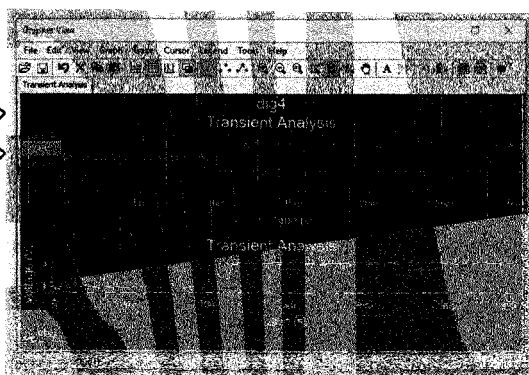
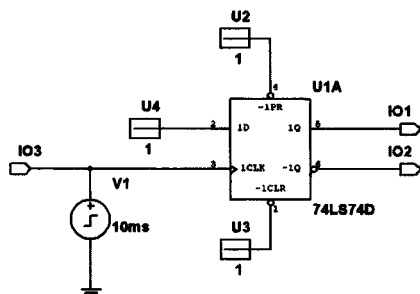


Рис. 9.5. Перепись данных с входа на прямой выход D-триггера

На вход данных подаем единицу (та же константа), а на вход управления подадим «ступеньку» напряжения.

**Новичок:** *Я впервые вижу на схеме IO1–IO3, это что?*

К выходам триггера подключены элементы IO1–IO3, соединители, их можно найти в основном меню, пункт *Place* (рис. 9.6). Соединители используются в программах моделирования, в реальных схемах им соответствуют разъемы. При использовании симуляции *Simulate*→*Analyses*→*Transient Analysis* в настройках выходов будет два окна:

- ♦ одно из которых предназначено для цифровых выходов D(io1) и D(io2);
- ♦ другое для аналогового входа V(io3), поскольку генератор «ступеньки» аналоговый.

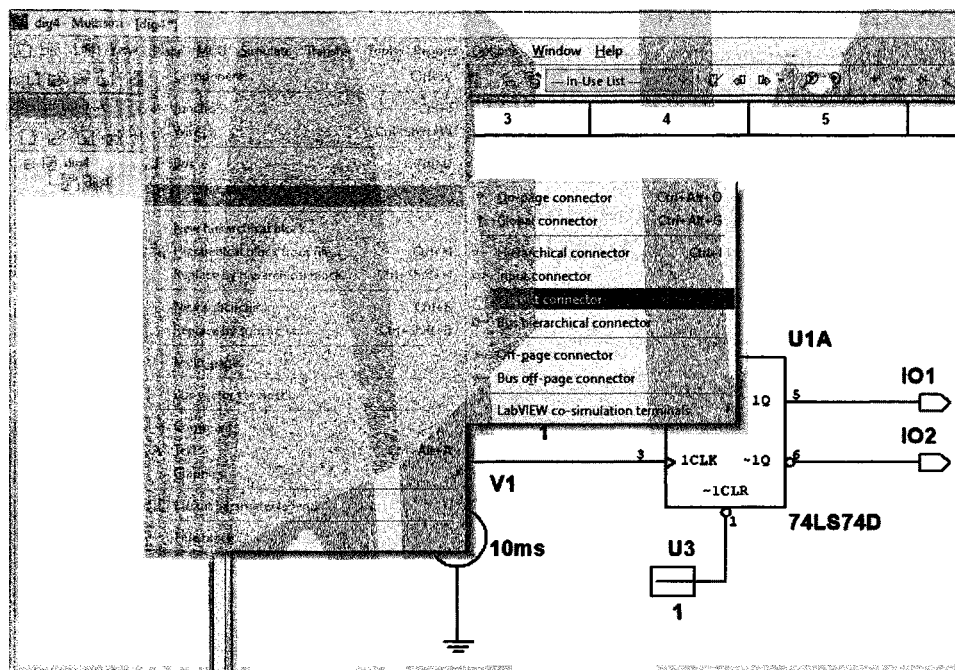
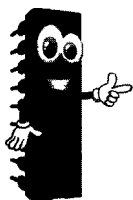


Рис. 9.6. Компоненты соединителей



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Соединив параллельно несколько, скажем, восемь D-триггеров, можно представить себе то, как устроены регистры для записи байта данных.*

Но в этом случае есть один нюанс, о котором следует упомянуть. Процесс записи данных динамический, поэтому важно соотношение времен (рис. 9.7). Не будем усложнять схему, используем два D-триггера.

Рассмотрим работу этой схемы, используя *Simulate* → *Analyses* → *Transient Analysis* (рис. 9.8).

Маркером на рис. 9.8 отмечен импульс, записывающий входные данные. Хотя входные данные, изображаемые генератором V1 (рис. 9.7), начинают устанавливаться с момента времени 1 мс, запись осуществляется только в момент времени 2 мс. Если бы мы осуществляли запись одним импульсом, подав его в момент 1 мс, то данные не были бы записаны.

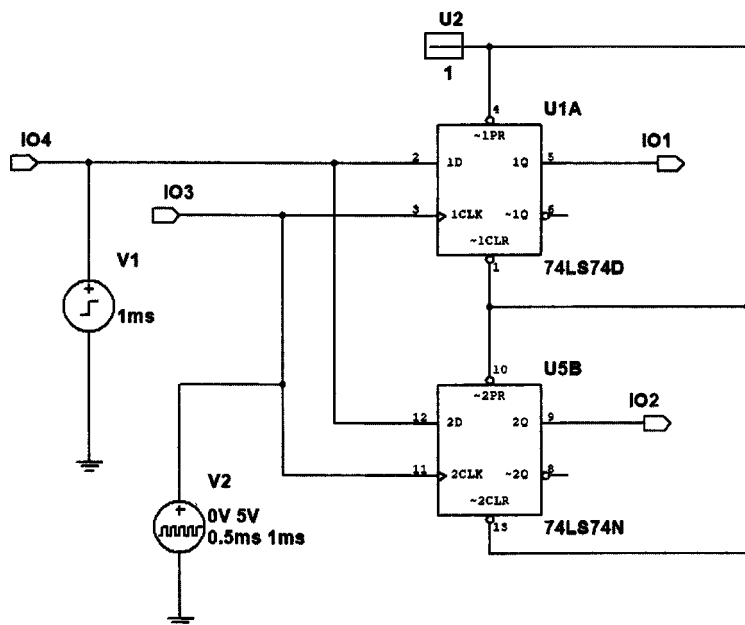


Рис. 9.7. Эксперимент по записи данных

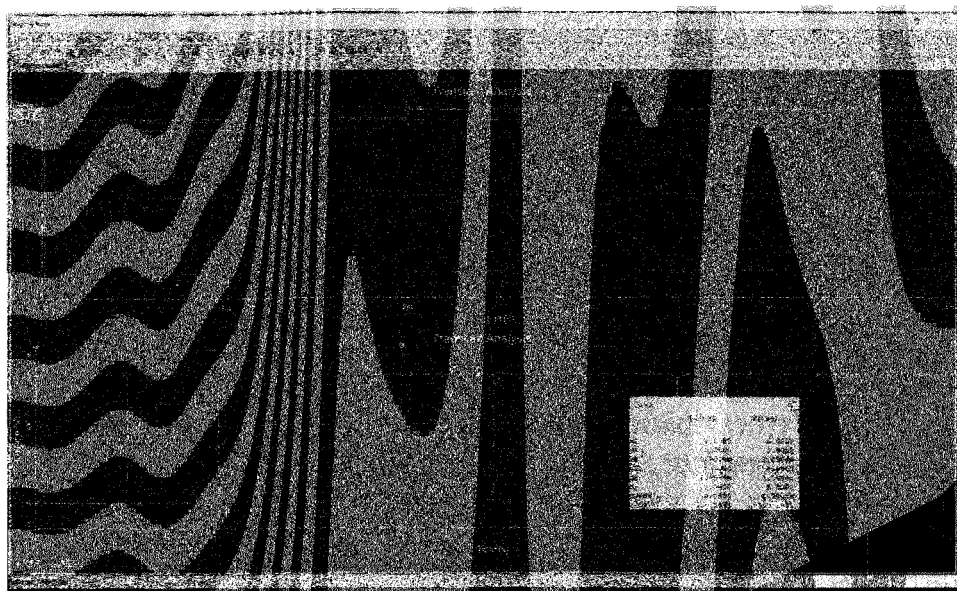


Рис. 9.8. Диаграмма процессов схемы на рис. 9.7

Таким образом, управляющий импульс можно подавать только тогда, когда данные установились. Поэтому в реальных устройствах в этих случаях применяют схемы задержки импульсов.

**Новичок:** А микросхемы регистров существуют?

В 74 серии микросхем есть параллельные регистры, которые можно использовать в своих проектах (рис. 9.9).

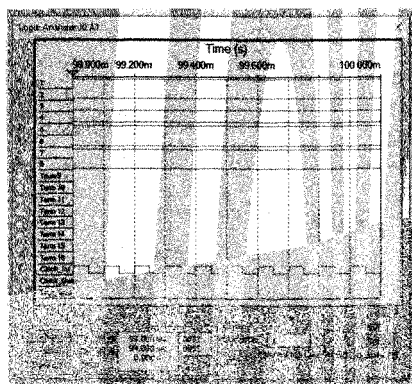
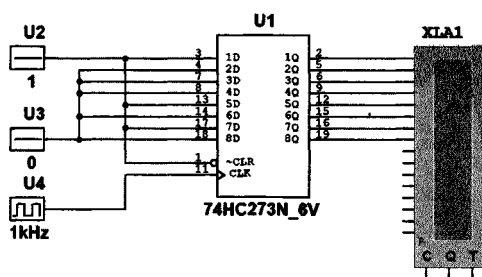
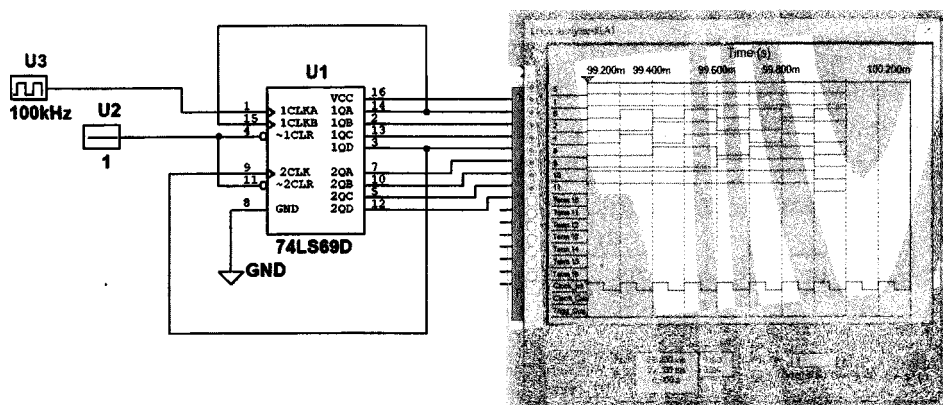


Рис. 9.9. Параллельный регистр 74HC273



**Рис. 9.10.** Работа счетчика 74LS69

Возвращаясь к D-триггеру, если последовательно соединить несколько таких триггеров, то получится **двоичный счетчик**. Назначение счетчика, что ясно из его названия, считать импульсы, приходящие на вход. Разновидностей счетчиков довольно много: двоичные, десятичные, реверсивные и т. д. Рассмотрим в качестве примера работу **счетчика 74LS69** (рис. 9.10).

Микросхема имеет два счетчика в одном корпусе. Выводы  $\sim 1CLR$  и  $\sim 2CLR$  используются для предустановки счетчиков, очищая их при запуске. Первый счетчик имеет два входа счета, что расширяет возможности использования микросхемы.

Кроме подсчета импульсов (или событий) счетчики часто используют в качестве делителей частоты. Изменим схему предыдущего эксперимента (рис. 9.11).

На экране осциллографа видно, что на выходе 1QA частота импульсов вдвое меньше, чем частота импульсов генератора U3.

Посмотреть в программе Multisim, как работает счетчик по его прямому назначению, можно с помощью индикаторов, имеющих встроенный дешифратор (рис. 9.12). Индикаторы отображают шестнадцатеричные числа:

*Indicators*→*HEX\_DISPLAY*→*DCD\_HEX*.

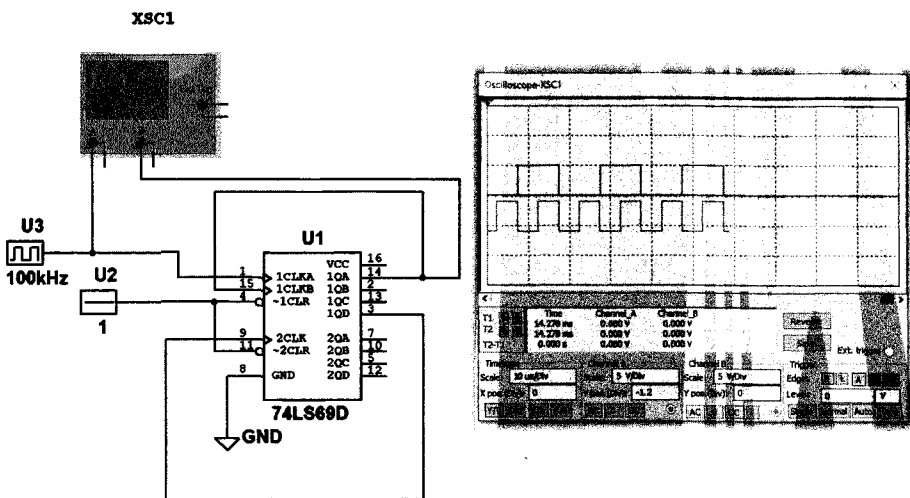


Рис. 9.11. Использование счетчика в качестве делителя частоты

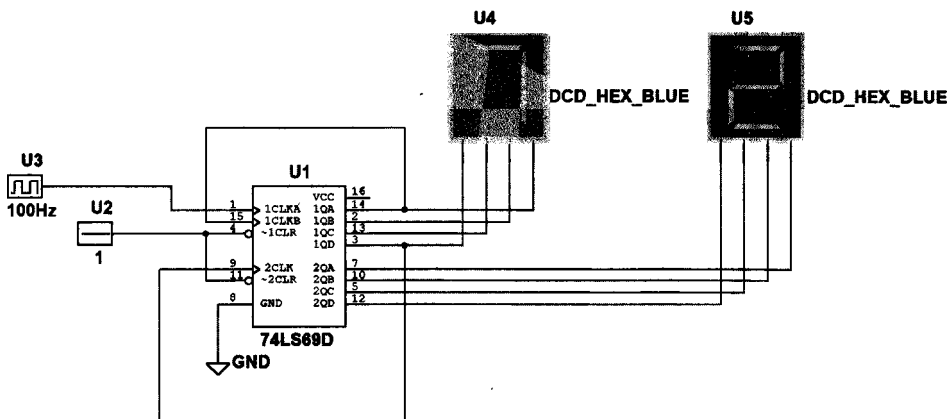


Рис. 9.12. Счетчик с индикаторами на выходе

## Память и другие аксессуары процессора

Память в цифровой технике обычно делят на две группы:

- ♦ оперативную (RAM);
- ♦ постоянную (ROM).

Данные, хранимые в оперативной памяти, исчезают при выключении питающего напряжения. Не так с постоянной памятью (ROM, ПЗУ).

Когда-то постоянные запоминающие устройства, ПЗУ, программировали, прожигая перемычки. Позже появились микросхемы ПЗУ с окошком для стирания данных ультрафиолетом. И, наконец, появились электрически перепрограммируемые ПЗУ. В настоящее время широко применяют флэш-память.

**Новичок:** *Я понял, данные хранят в ПЗУ, так?*

Не совсем. На заре использования вычислителей данные хранили на **карточках**. Потом стали использовать **ленту**, в которой пробивались отверстия. Эту ленту мог прочитать **фотосчитыватель**.

Позже появились кассеты с магнитной лентой, дискеты, затем CD-диски. Сейчас большие объемы данных предпочитают записывать на «флэшки». Это небольшое устройство, позволяющее обращаться к нему через USB-порт как к любой папке на компьютере. Более того, можно создать загрузочный диск и загружать операционную систему с флэш-карты.

**Новичок:** *А что про оперативную память?*

**Оперативная память** может быть двух видов:

- ♦ динамическая (она дешевле и быстрее, но требует регенерации, периодического чтения);
- ♦ статическая (она дороже и медленнее, а также проще в использовании).

Любые микросхемы памяти организованы так, что имеют ячейки памяти, часто байтовые, куда записываются данные. Каждая ячейка памяти должна иметь свой **адрес (номер)**.

**Процесс записи** выглядит так: при обращении к ячейке памяти нужно выставить ее адрес, на шину данных выставить данные, и подать управляющий импульс для записи или чтения.

Будет ли осуществлена запись или чтение **определится входами микросхемы**. Заглянув в справочные данные, можно найти для микросхемы M68AW511A (табл. 9.1)

Назначение выводов M68AW511A

Таблица 9.1

|           |                     |
|-----------|---------------------|
| A0-A18    | Адрес ячейки памяти |
| DQ0-DQ7   | Данные ввод/вывод   |
| $\bar{E}$ | Доступ к микросхеме |
| $\bar{G}$ | Разрешен вывод      |
| $\bar{W}$ | Разрешена запись    |

Посмотрим, как происходит работа с микросхемой памяти в программе Multisim. Для записи, видимо, следует:

- ♦ выставить адрес и данные;
- ♦ включить доступ и сигналом разрешения записи записать данные.

Чтобы не усложнять опыт, я хочу использовать простое решение (рис. 9.13).

Мои «Ах» и «Ох», увы. Моделирование у меня не получилось. Идея была в том, чтобы записать, используя ключ S1 данные при замкнутых ключах S2 и S3, затем переключиться на чтение, отключив данные ключами S2 и S3. Не вышло. Возможно, микросхемы памяти в Multisim служат для работы по разводке печатных плат.

А мне, в первую очередь, хотелось показать наличие двух шин:

- ♦ адресной шины из 19 проводников;
- ♦ шины данных из 8 проводников.

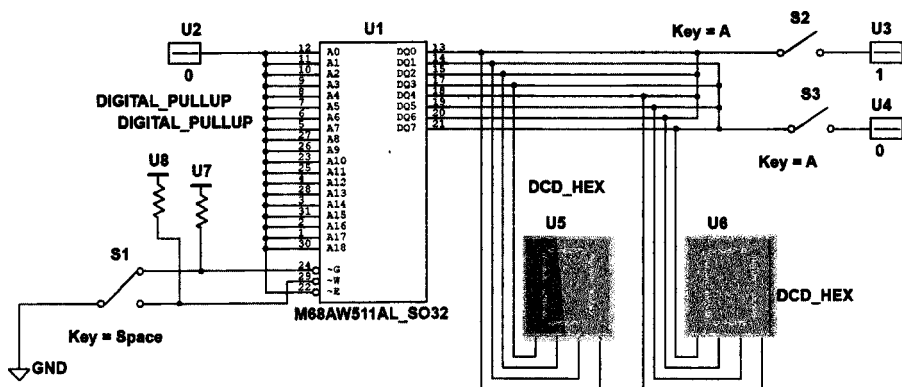


Рис. 9.13. Опыт записи в микросхему памяти



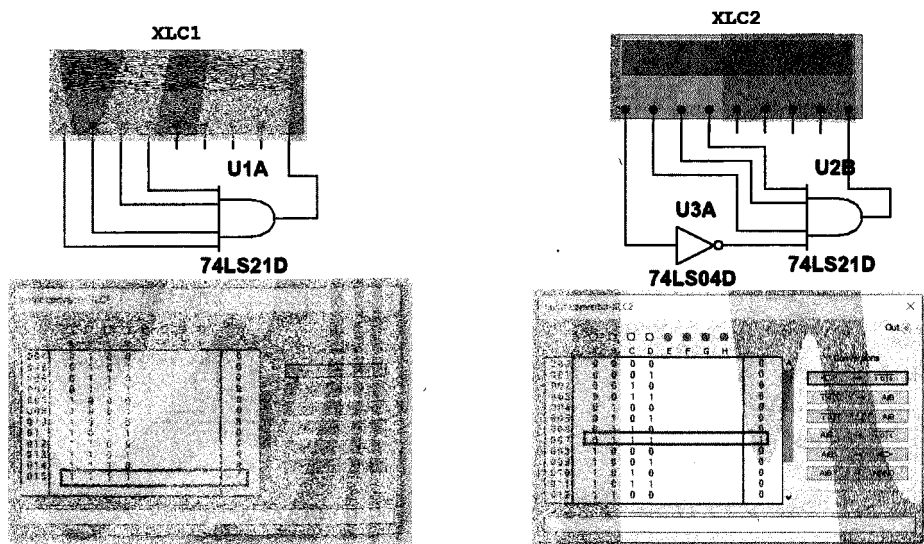


Рис. 9.14. Адресный селектор на 4 входа

При этом выход данных, если снять сигнал  $\bar{E}$  (подать высокий уровень), переходит в третье состояние. Но, не получилось, так не получилось.

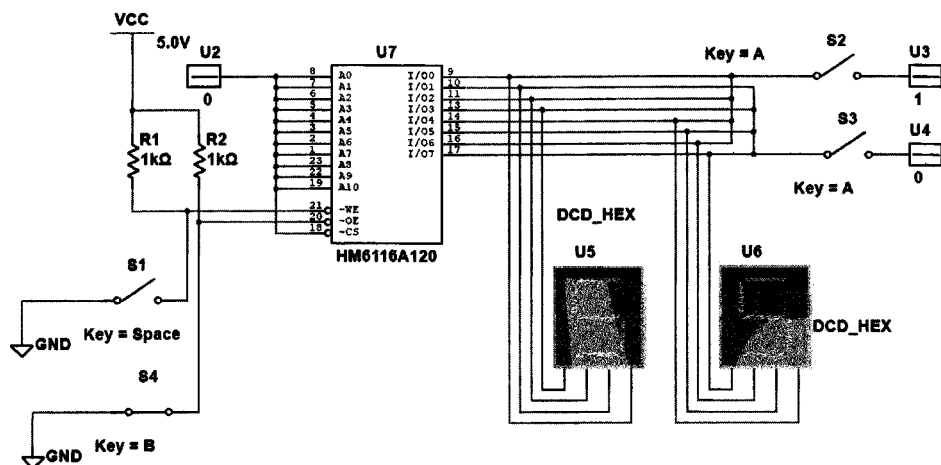
А еще я хотел рассказать, что для доступа к ячейкам памяти используется встроенный в микросхему **адресный селектор**. Проще всего понять работу селектора на таком примере (рис. 9.14).

Можно видеть, что первый адресный селектор реагирует на код 1111, а второй — на код 0111, то есть, первый адрес 15, тогда как второй — 7. С помощью такой конструкции можно менять адреса не только ячеек памяти, но разных устройств, которые работают со сложной цифровой техникой. Они все имеют регистры для записи и/или чтения данных, регистры состояния и т. п.



### ЭТО ВАЖНО.

*Модели устройств при установке их в поле чертежа имеют разный цвет. Зеленые модели не предназначены к моделированию. Моделируются те устройства, цвет которых синий.*



**Рис. 9.15.** Опыт с другой моделью микросхемы памяти

Выяснив этот аспект работы с программой Multisim, повторим опыт **рис. 9.13**, выбрав другую модель микросхемы памяти (**рис. 9.15**).

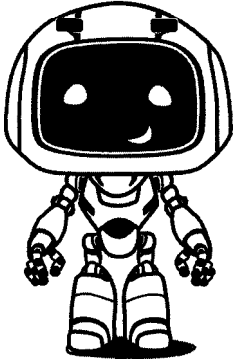
Эта модель имеет такие же адресные входы и шину данных, как и предыдущая (**рис. 9.13**). Управляющие сигналы:

- ~CS — выбор микросхемы, активный уровень низкий;
- ~W — запись при низком уровне;
- ~OE — разрешение вывода при низком активном уровне.

Адрес у нас задан единственный, нулевой. При запуске моделирования индикаторы покажут нули. Подключив «данные» выключателями S2 и S3 (одной клавишей, латинская «а» или «А» на клавиатуре), увидим эти данные на индикаторах.

Теперь при выключенном S4 замкнем и разомкнем выключатель S1. Затем выключим «данные», клавиша «а». Если замкнуть ключ S4, как показано на **рис. 9.15**, то мы прочитаем записанное чередование единиц и нулей как шестнадцатеричное число 55.

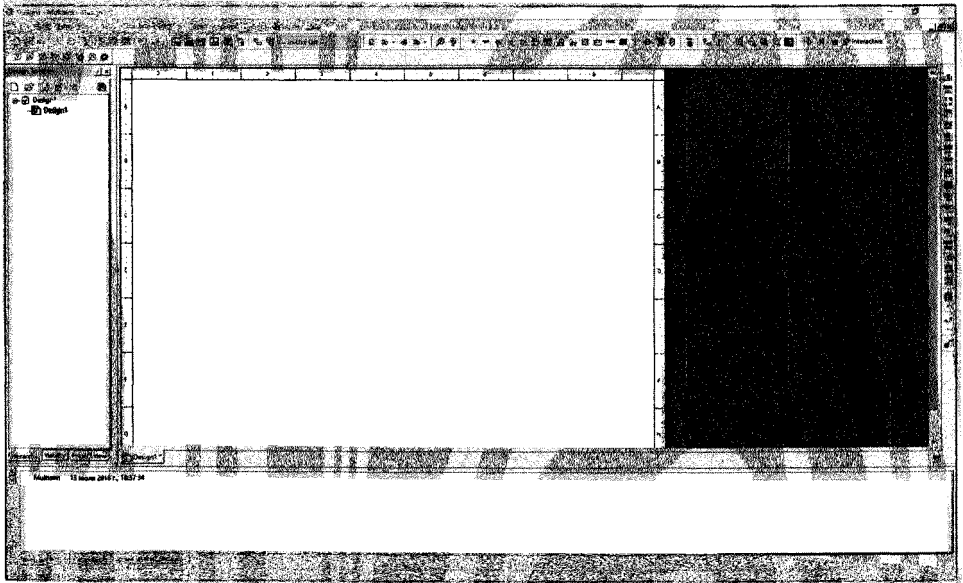
В этом месте своего рассказа я, спасибо моему давнему знакомому, получил возможность попользоваться последней на сегодня версией Multisim 14.1, за что я ему очень благодарен. Итак.



# НЕСКОЛЬКО СЛОВ О MULTISIM ВЕРСИИ 14.1

Общий вид окна программы изменился не столь разительно (рис. 10.1).

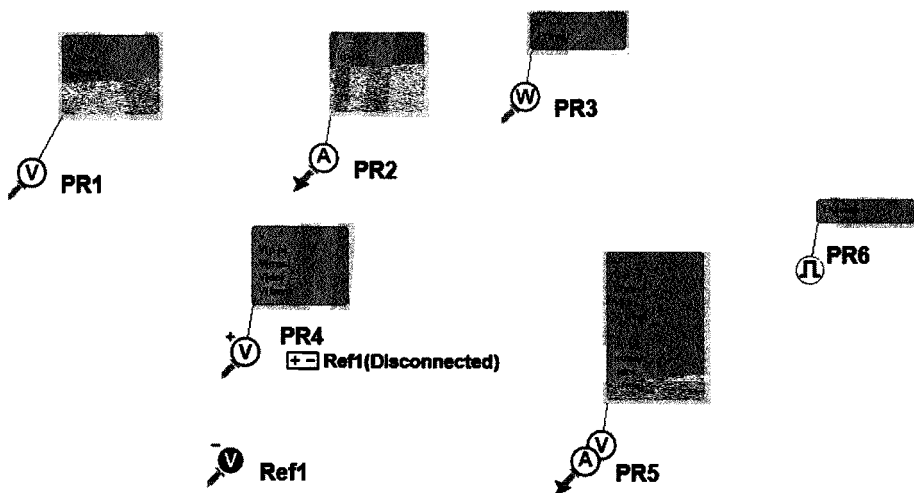
Впрочем, я заметил еще одну панель (рис. 10.2), с назначением которой можно познакомиться сейчас.



*Рис. 10.1. Окно Multisim версии 14.1*



*Рис. 10.2. Новая инструментальная панель*



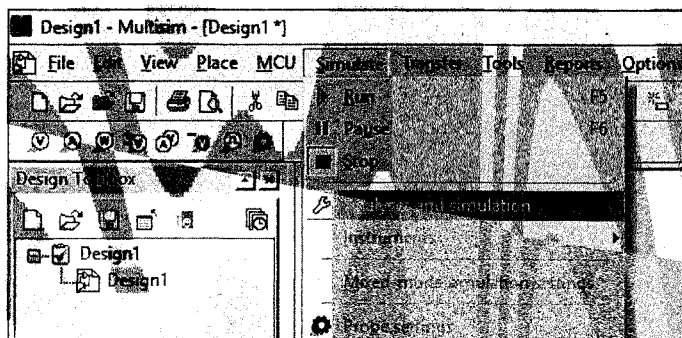
**Рис. 10.3.** Содержание панели пробников

Если перенести все элементы с этой панели в рабочее поле, то можно понять, что это панель пробников (**рис. 10.3**).

Конечно, с пробниками следует поработать, но к этому процессу мы еще вернемся. Но говорят, что можно в свойствах пробников (иконка настройки, крайняя справа) определить, будет ли пробник измерять мгновенные или средние значения.

Несколько изменился подход в разделе моделирования (**рис. 10.4**).

Открывается раздел диалоговым окном, в котором можно заметить *Active Analysis* (**рис. 10.5**).



**Рис. 10.4.** Раздел моделирования схем

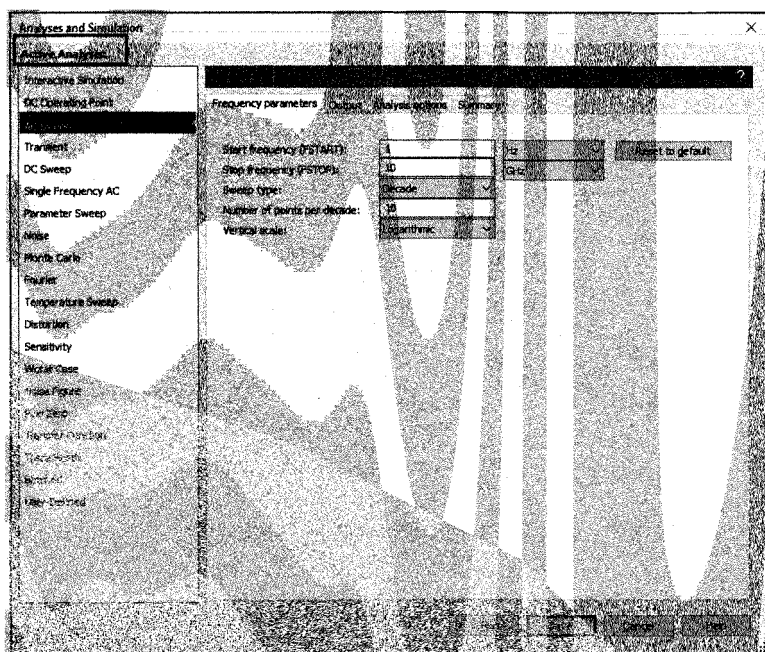
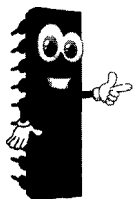


Рис. 10.5. Диалог выбора анализа схемы

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

*Active Analysis* позволяет моделировать схему с пробниками в нескольких точках, результаты измерения которых выводятся на один график.

Расширено количество примеров. Кроме тех, что есть в разделе *File*→*Open Samples*, можно использовать иконку инструментальной панели (рис. 10.6), где в диалоговом окне примеров для цифровых устройств, похоже, больше (рис. 10.7).

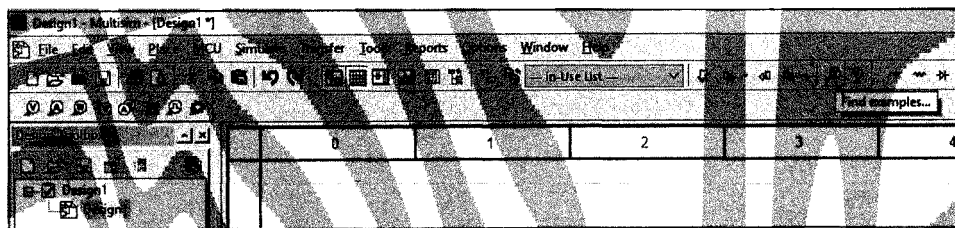
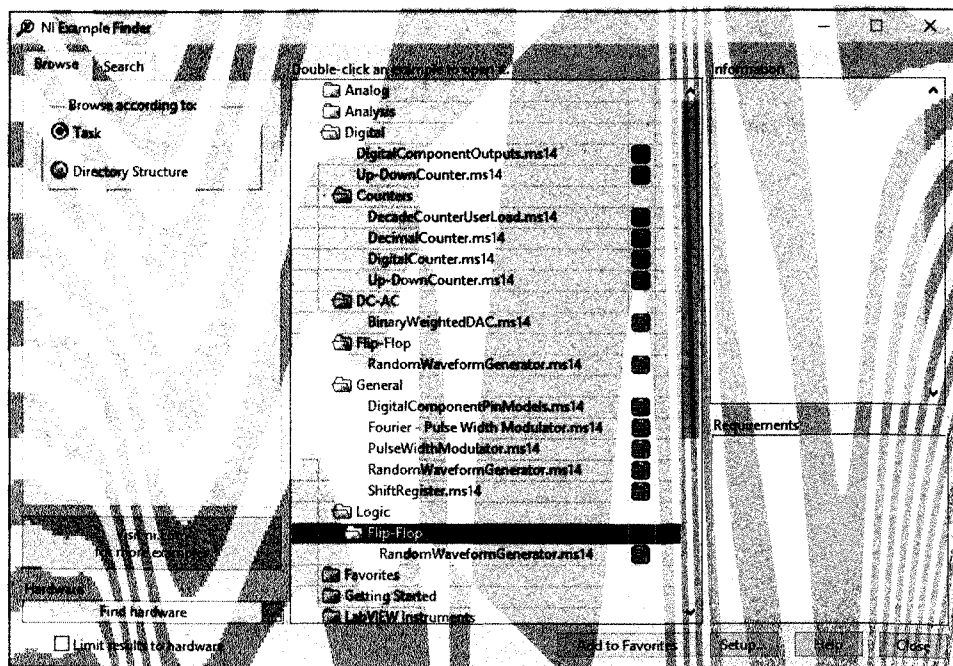
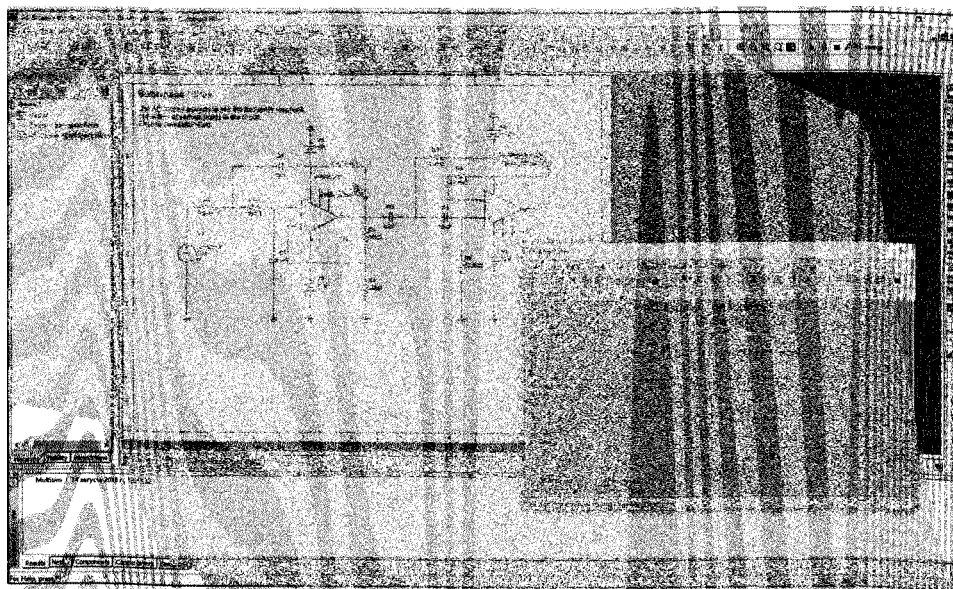


Рис. 10.6. Иконка поиска дополнительных примеров для Multisim



*Рис. 10.7. Дополнительные примеры в разделе Digital*



*Рис. 10.8. Пример с использованием нескольких пробников*

Среди примеров есть схема с несколькими пробниками. И, что меня смущало раньше, запустив этот пример, я научился менять цвет фона графика. Правда, если в предыдущей версии можно было сделать белый фон, то здесь, так у меня получилось, белый фон отсутствовал (рис. 10.8).

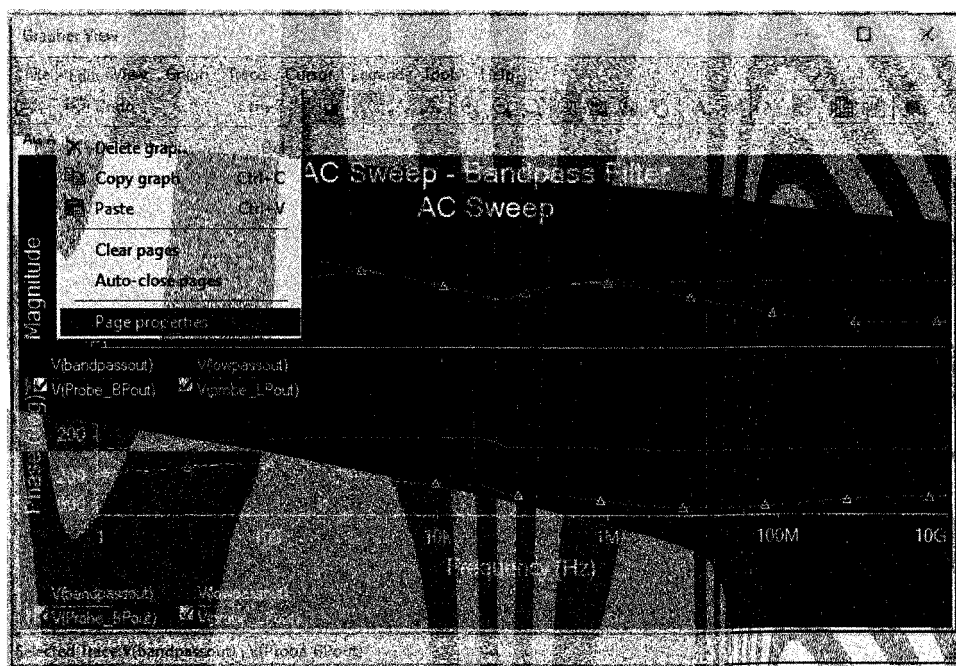


Рис. 10.9. Свойства страницы в окне графики

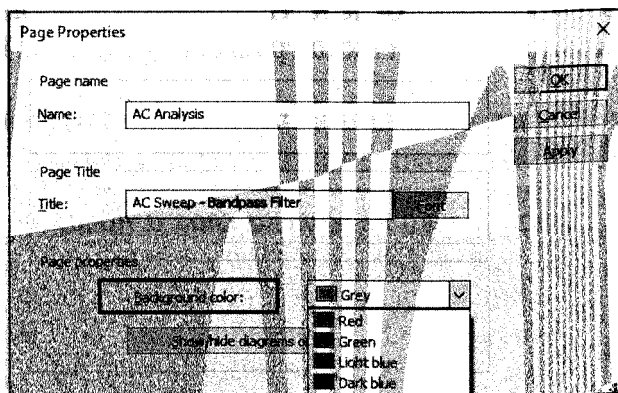
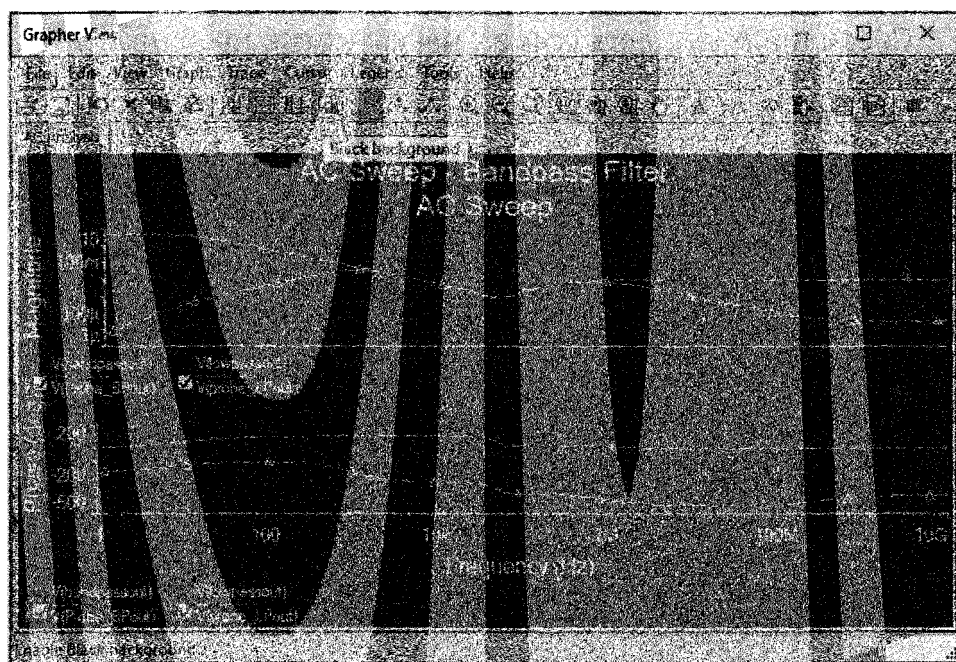


Рис. 10.10. Выбор цвета фона



**Рис. 10.11.** Иконка переключения цвета фона страницы графики

Все, как всегда, когда знаешь, оказалось очень просто — достаточно в окне графики зайти в пункт *Edit* (рис. 10.9), выбрать раздел *Page properties*, чтобы там отметить нужный цвет фона (рис. 10.10).

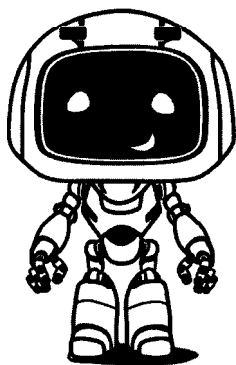
Признаюсь, я это уже проделывал, но безуспешно. Причина, как всегда, оказалась банальна, чтобы увидеть новый цвет выбранного фона, нужно нажать иконку переключения на инструментальной панели окна графики (рис. 10.11).



### СОВЕТ.

Это только несколько слов о новой версии, поэтому я очень советую прочитать замечания к новой версии, где подробнее рассказывается о новшествах, и обязательно разобрать примеры, предложенные разработчиками программы Multisim.

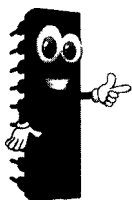




# РЕГИСТРЫ и ДРУГИЕ ЦИФРОВЫЕ МИКРОСХЕМЫ

## Регистры ||

**Новичок:** *А что представляют собой регистры, которые упоминались ранее?*



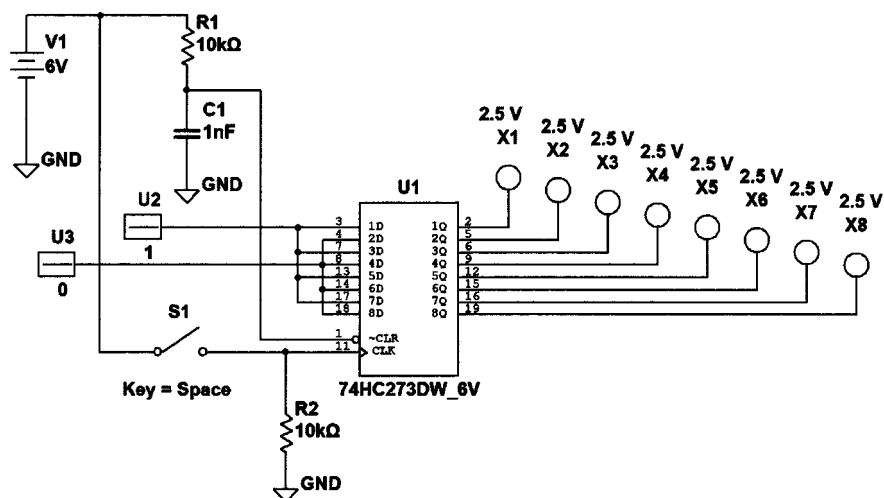
### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Регистры можно разделить на три группы: параллельные, сдвиговые и универсальные.*

**Параллельные регистры** записывают данные и хранят их, позволяя прочитать данные при необходимости (**рис. 11.1**).

Цепь R1C1 в данном случае предназначена для очистки регистра при включении питания, именно для этого нужен вход  $\sim CLR$ . Если необходимо очищать регистр в процессе работы, то на этот вход можно подать импульс низкого уровня.

А продолжением опыта с регистром будет использование выключателя S1 (нажать на клавиатуре пробел). Достаточно замкнуть ключ, чтобы данные с входов 1D—8D переписались

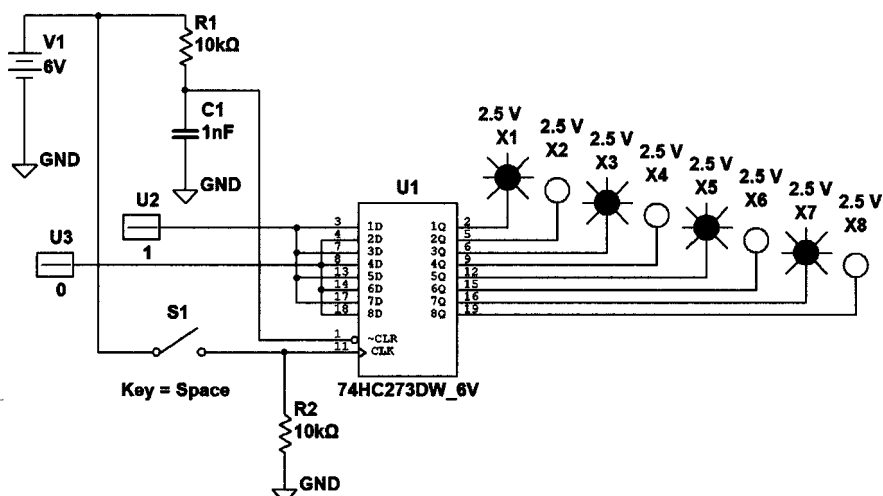


*Рис. 11.1. Параллельный регистр*

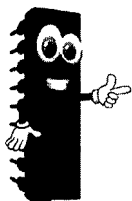
на выход (рис. 11.2). И данные сохраняются, когда вы разомкнете ключ S1.

В опыте использованы пробники, которые можно найти так:

*Indicators→PROBE→PROBE\_DIG\_RED.*



*Рис. 11.2. Запись данных в регистр*



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*В программе Multisim есть подтягивающие резисторы: в поиске достаточно задать DIGITAL\_PULLUP или DIGITAL\_PULLDOWN. Но у меня с подтягивающими резисторами не получилось показать то, что я намеревался показать.*

В качестве примера работы сдвигового регистра используем микросхему 74ALS165M (рис. 11.3).

Ключ S1 загружает данные через входы A-H в регистр. Ключ S2 играет роль тактового генератора — каждый переход от низкого уровня к высокому (фронт сигнала) перепишет данные на выход QH. Поскольку данных восемь бит, чередующих низкий и высокий уровень, пробник будет мигать при переключении.

На место выведенного на выход бита записывается ноль. В результате после восьми бит на выходе любые переключения ключом S2 не изменяют состояния пробника. Можно вновь загрузить данные ключом S1, чтобы повторить весь опыт. В эксперименте вместо ключа S2 можно использовать цифровой тактовый генератор.

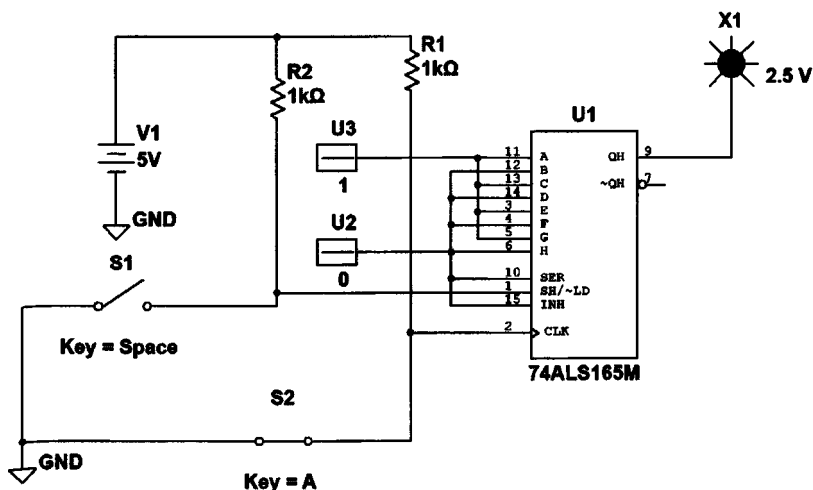
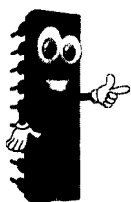


Рис. 11.3. Опыт с микросхемой сдвигового регистра



## ПРИМЕЧАНИЕ.

*Позже, когда мы будем упоминать регистры, вы можете себе их представить как параллельный регистр. А при упоминании UART (модуль последовательного обмена данными) буфер передачи можете себе представить как сдвиговый регистр. Микросхемы памяти, хотя и устроены иначе, работают подобно параллельному регистру.*

## Дешифратор

Мы уже использовали семисегментные индикаторы-пробники. По сути **семисегментный индикатор** — это семь светодиодов, расположенных определенным образом, так что, зажигая их, можно получить цифры от 0 до 9.

**Новичок:** Я знаю, такие индикаторы использовались в электронных часах.

Да, и в приборах, зачастую используются и по сей день, но конкуренцию им составляют дисплеи, которые устроены гораздо сложнее.

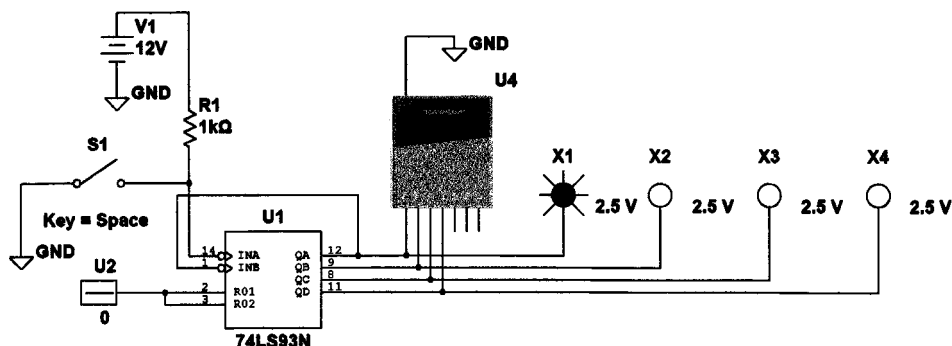
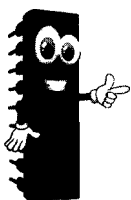


Рис. 11.4. Счетчик и семисегментный индикатор

Проведем такой **опыт**: подключим семисегментный индикатор к счетчику (рис. 11.4).

**Новичок:** *Стоп, а почему не все выводы индикатора подключены?*

Да, это первая проблема, возникшая у нас, как подключить оставшиеся выводы индикатора? У счетчика четыре выхода, а выводов у семисегментного индикатора, как и положено, семь.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Кстати, бывают индикаторы с общим анодом, а бывают, как на рис. 11.4 с общим катодом.*

Используя выключатель S1, мы получим при двух «импульсах» такое состояние пробников X1—X4 (рис. 11.5).

Пробники правильно отображают двоичное число 0011 (десятичное три), младший бит на выходе счетчика это QA, что не скажешь про индикатор.

Но мы уже использовали ранее индикаторы, которые показывали правильное значение импульсов — три щелчка выключателем, результат очевидный (рис. 11.6).

Все правильно. В шестнадцатеричный индикатор U3 встроен дешифратор, превращающий код 1-2-4-8 на выходе

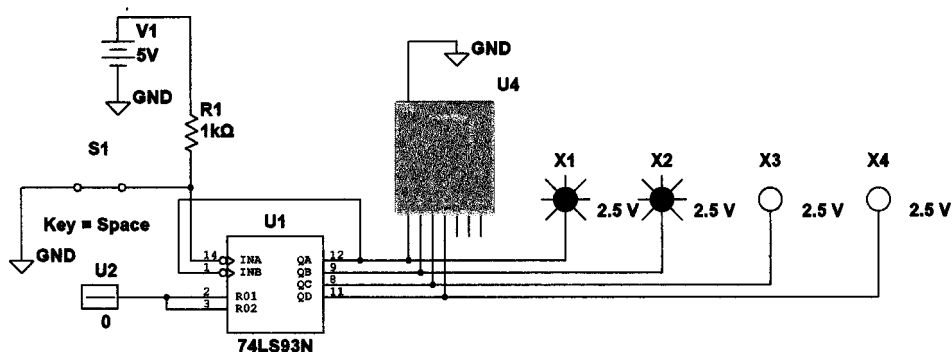


Рис. 11.5. Счет до трех, отображенный пробниками

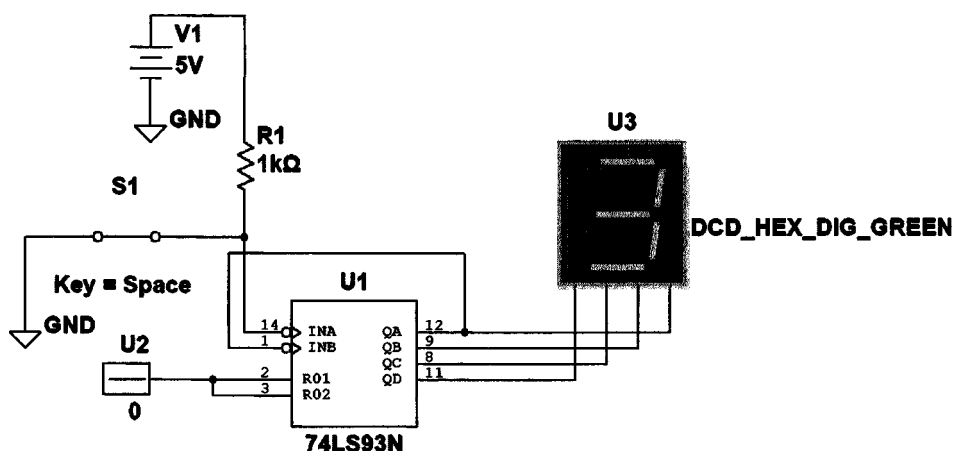


Рис. 11.6. Использование шестнадцатеричного индикатора

счетчика в показания индикатора. В случае использования обычного индикатора следует добавить микросхему дешифратора (рис. 11.7).

В работе счетчика 74LS93N помогает разобраться его таблица истинности (табл. 11.1), показывающая, как использовать входные выводы.

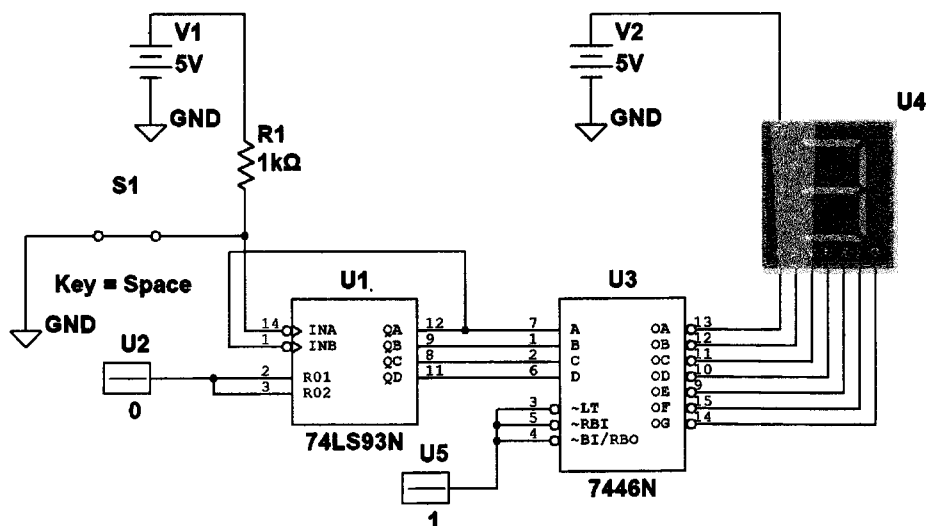


Рис. 11.7. Дешифратор для семисегментного индикатора

Таблица истинности сброс/счет счетчика 74LS93N

Таблица 11.1

| Входы сброса | Выход       |
|--------------|-------------|
| R0(1) R0(2)  | QD QC QB QA |
| Н Н          | L L L L     |
| L X          | count       |
| X L          | count       |

Здесь Н — высокий уровень, L — низкий уровень, X — безразлично, count — счет.

## Мультиплексор

Иногда в цифровых устройствах возникает потребность к одному входу подключать выходы нескольких микросхем по очереди. Тогда применяют **цифровой переключатель**, который называется **мультиплексор**. В качестве примера рассмотрим микросхему 74AS257M, функциональная таблица (табл. 11.2) для которой показана ниже.

Функциональная таблица микросхемы 74AS257M

Таблица 11.2

| Входы |    |   |   | Выходы |
|-------|----|---|---|--------|
| ~A/B  | ~G | A | B | AS257  |
| Н     | X  | X | X | Z      |
| L     | L  | L | X | L      |
| L     | L  | Н | X | Н      |
| L     | Н  | X | L | L      |
| L     | Н  | X | Н | Н      |

Здесь Н — высокий уровень, L — низкий уровень, X — безразлично, Z — выход в третьем состоянии (отключен).

Проведем простой опыт с этой микросхемой (рис. 11.8).

С помощью ключа S1 мы к выходу 1Y подключаем либо вход 1A, либо вход 1B.

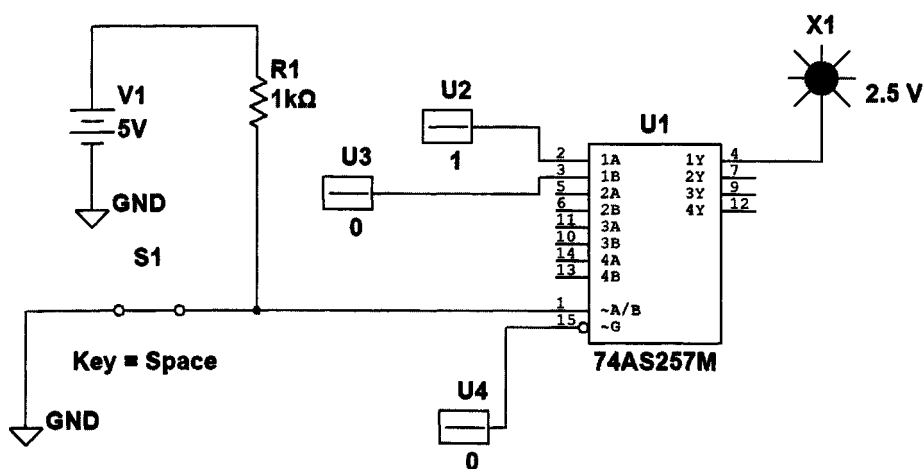


Рис. 11.8. Опыт с мультиплексором

**Новичок:** Хорошо, а какой-нибудь пример, зачем это нужно?

Первое, что приходит мне в голову — подключать разные (рис. 11.9) генераторы (или разные выходы счетчика-делиителя).

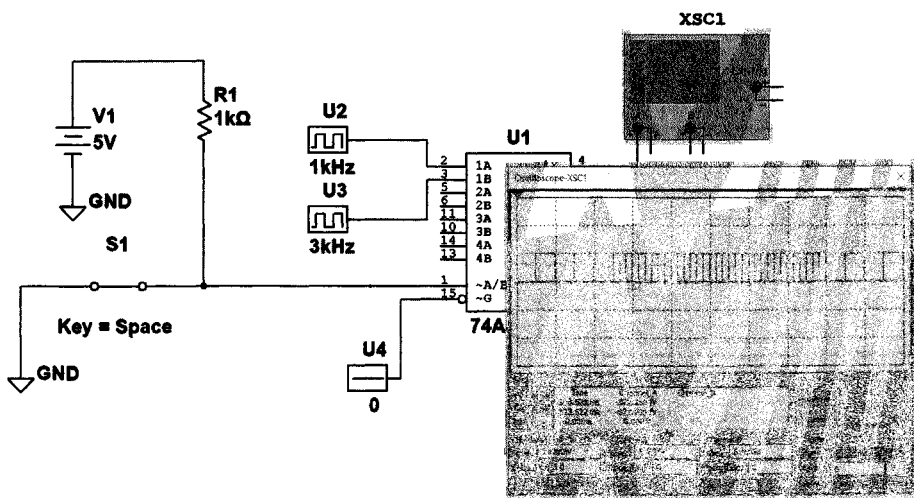
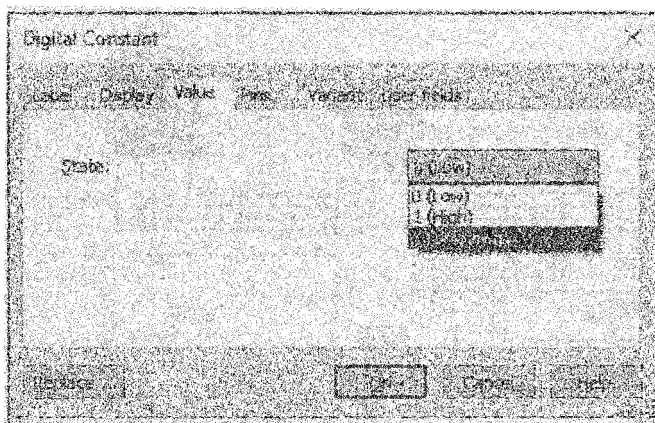


Рис. 11.9. Использование мультиплексора для переключения генераторов





**Рис. 11.10.** Свойства компонента «цифровая константа»

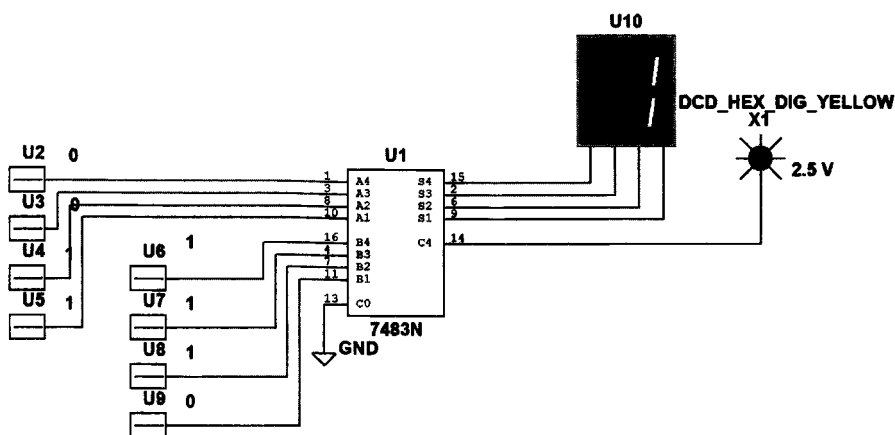
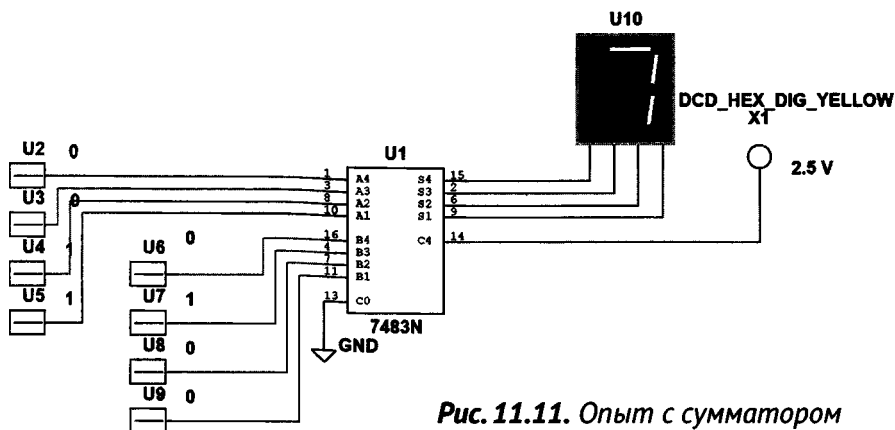
В реальном устройстве на входы мультиплексора могут приходить выходы микросхем, формирующих управляющие импульсы, а элементы схемы в нужный момент будут осуществлять их подключение.

Кстати, элементы *DIGITAL\_CONSTANT* (U4 на рис. 11.9), можно переводить в высокий или низкий уровень, можно отключать их, управляя этим в свойствах (двойной щелчок левой клавишей мышки) компонента (рис. 11.10).

## Сумматор

Назначение **сумматора** следует из его названия — суммировать. Микросхема складывает два двоичных числа, выводя их сумму на выход, где есть и выход переноса. Рассмотрим, как работает микросхема 7483N (рис. 11.11).

Переноса от предыдущей микросхемы нет, поэтому вход C0 заземлен. Первое число 0011 (3), второе число 0100 (4), их сумма появляется на индикаторе U10 сразу — это 7. Индикатор переноса показывает ноль, переноса нет. Изменим второе число, сделав его 1110 (десятичное 14) (рис. 11.12).



**Новичок:** А как использовать перенос?

Добавим еще одну микросхему сумматора, где сложим 1 и 1, добавив перенос (рис. 11.13).

Шестнадцатеричное число 13 соответствует десятичному 19. Сложим:  $3 + 14 + 2 = 19$ .

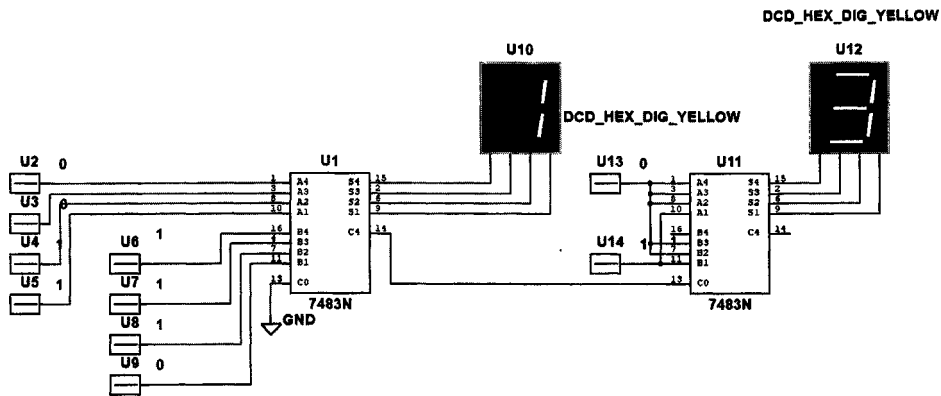


Рис. 11.13. Сложение чисел с использованием переноса

Что означает  
TTL и CMOS?

**Новичок:** Я давно хочу спросить, что такое TTL?

Аббревиатура **TTL** означает **транзисторно-транзисторную логику**, а **CMOS** — **комплементарные-металл-оксидные-полупроводники (КМОП)**. Это относится к технологии изготовления серий цифровых микросхем. Чтобы было понятнее, проведем такие опыты (рис. 11.14).

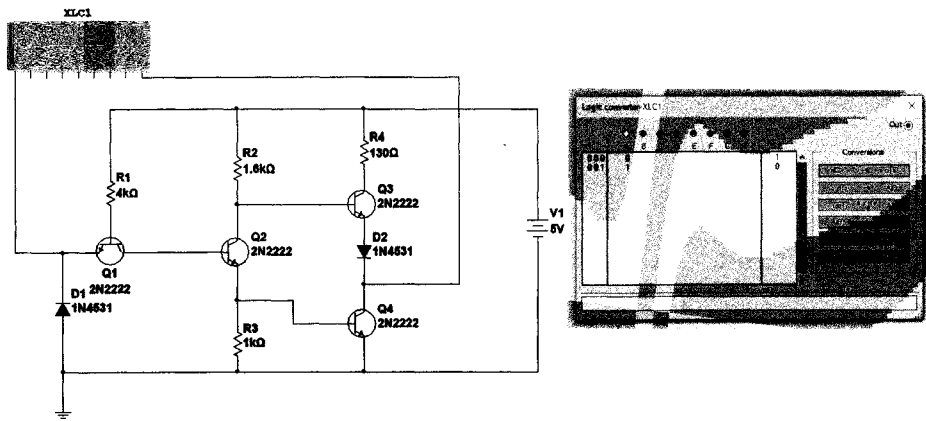
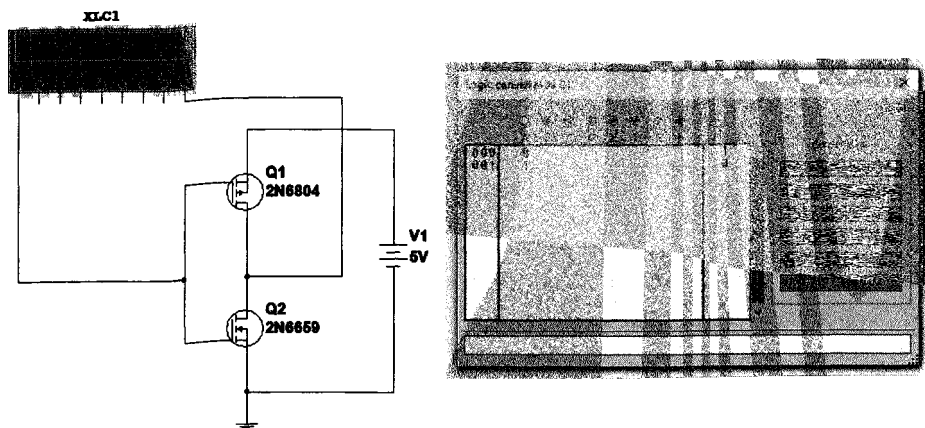
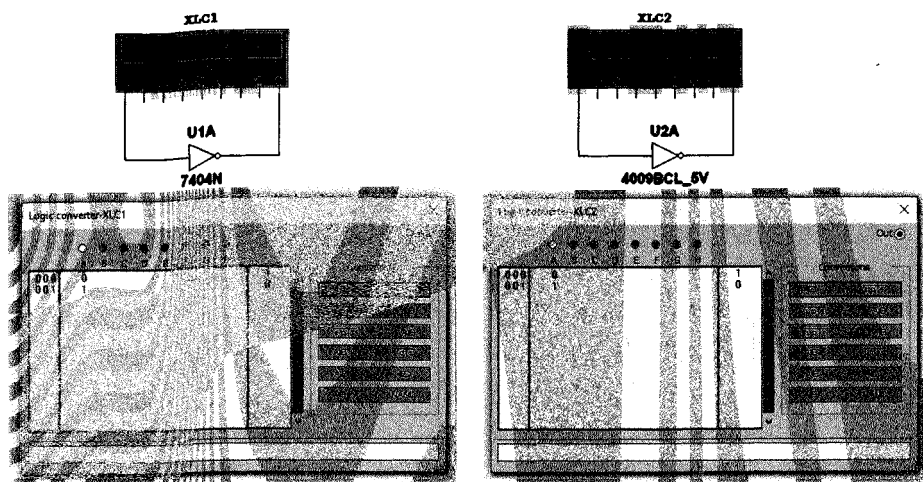


Рис. 11.14. TTL инвертор изнутри



**Рис. 11.15.** CMOS инвертор изнутри

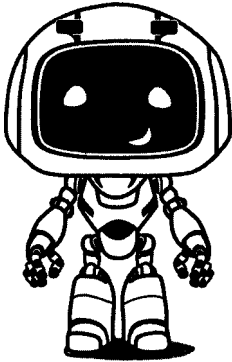


**Рис. 11.16.** Таблицы истинности  
для двух инверторов микросхем серий 74xx и 40xx

Обычно транзистор Q1 многоэмиттерный, но за отсутствием таковых в программе, использован обычный транзистор. Как показывает таблица истинности, ведет себя схема аналогично обычному ТТЛ инвертору.

Похожую структуру для КМОП инвертора можно получить на двух полевых транзисторах (рис. 11.15).

И чтобы не было сомнений, получим таблицы истинности для микросхем ТТЛ и КМОП (рис. 11.16).



# АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ и ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ УСТРОЙСТВА

## Аналого-цифровой преобразователь

Рассказывая об аналого-цифровом преобразователе (АЦП), я всегда использую один и тот же пример, поскольку мне он кажется очень наглядным. С помощью счетчика, набора резисторов и компаратора получается хорошая модель АЦП (рис. 12.1).

Осциллограмма, отображающая с помощью пробников PR1 и PR2 напряжения (рис. 12.2), показывает, что счетчик с тактовым генератором U3 и резисторной матрицей R1—R5 формирует **ступенчатое нарастающее напряжение**. Когда это напряжение превышает напряжение на стабилитроне D1, компаратор переключается.

Импульсом его переключения можно переписывать данные с выхода счетчика U1 в регистр. Полученное двоичное значе-

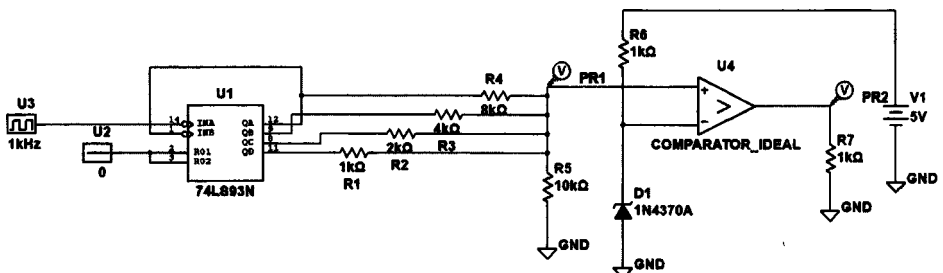
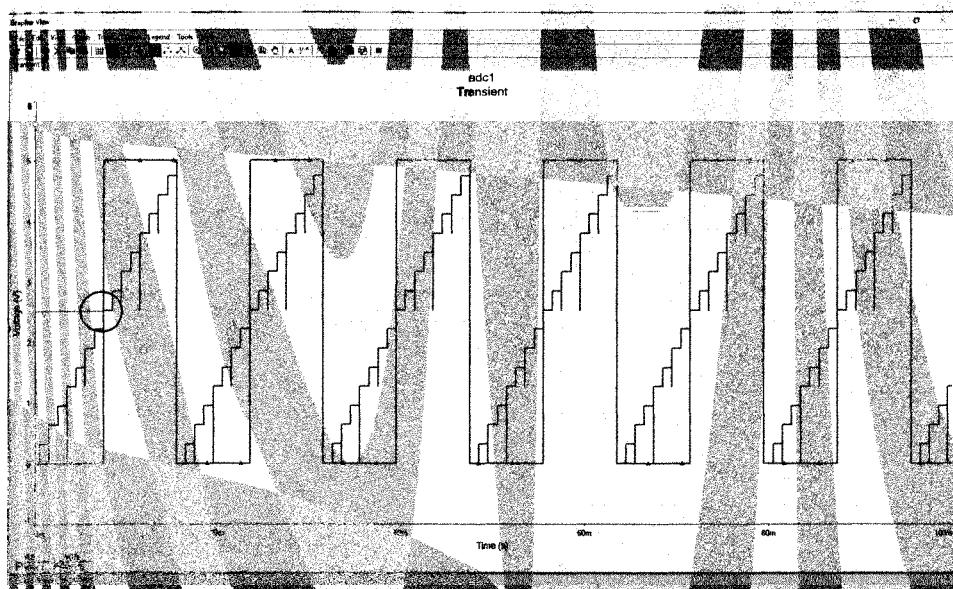
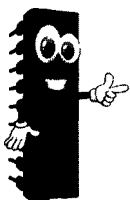


Рис. 12.1. Модель АЦП



**Рис. 12.2.** Осциллограмма напряжений в точках установки пробников

ние и будет оцифрованным напряжением на инверсном входе. Отмеченная на осциллограмме точка — это **напряжение переключения**.



#### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Прямоугольные импульсы на осциллограмме — это импульсы переключения компаратора. Ступенчатый сигнал формируется счетчиком и резисторной матрицей.*

Показанная модель АЦП не единственная. Стимулом к поиску других решений было то, что время, которое необходимо для формирования ступенчатого напряжения, во много раз больше, чем быстродействие цифровых компонентов. Если АЦП предназначено для обработки медленных процессов, то к АЦП претензий нет, а для быстрых процессов придумали другие схемы. Например, можно использовать линейку компараторов (рис. 12.3).

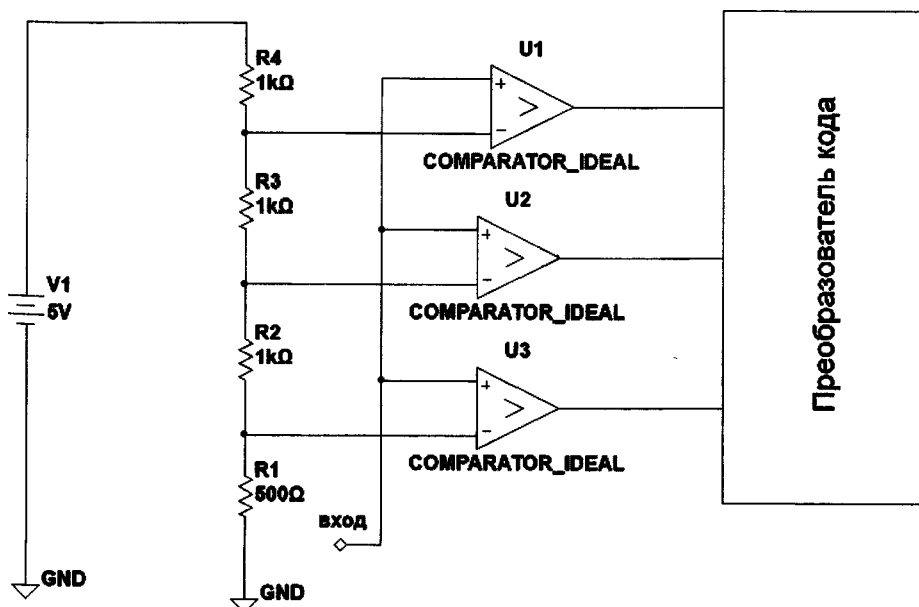


Рис. 12.3. Другая модель АЦП

Быстродействие такого АЦП определится быстродействием компараторов и преобразователя кода, что может быть значительно выше, чем у предыдущей модели АЦП.

## Цифро-аналоговый преобразователь

Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) осуществляет обратное по отношению к АЦП преобразование — преобразует цифровые данные в аналоговый сигнал. Прделаем такой опыт (рис. 12.4).

Эта модель ЦАП имеет токовый выход, а моделирование переходного процесса с пробником PR1 на выходе дает такую осциллограмму (рис. 12.5).

Последовательность двоичных чисел, формируемая двумя счетчиками, переводится цифро-аналоговым преобразовате-

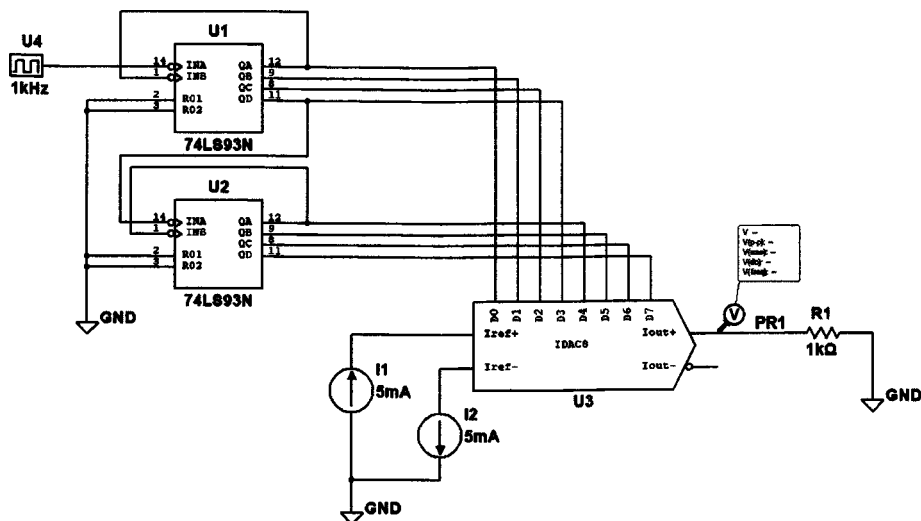


Рис. 12.4. Работа цифро-аналогового преобразователя

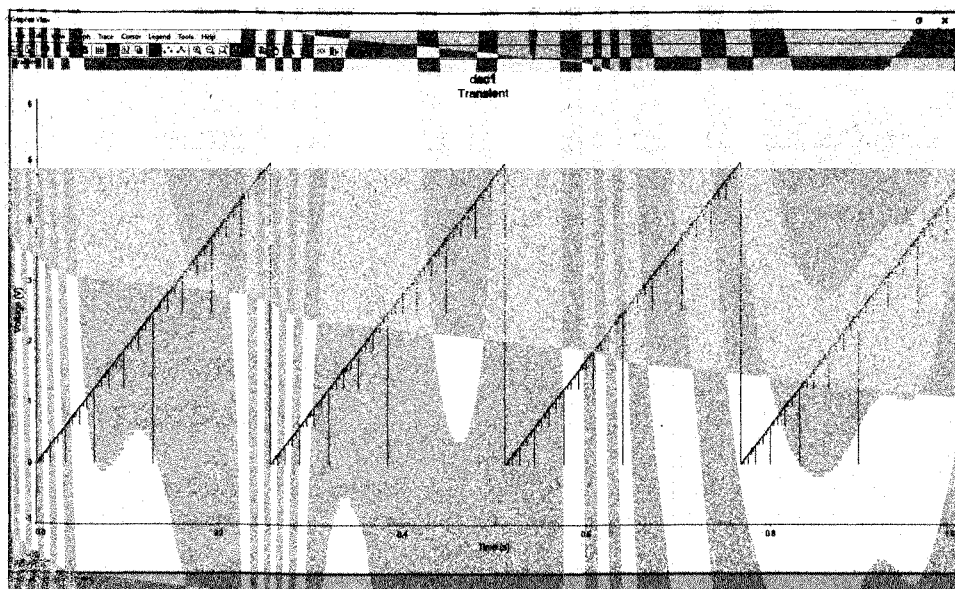


Рис. 12.5. Осциллограмма выходного напряжения ЦАП

лем в пилообразное напряжение. Модель ЦАП можно представить себе как набор ключей, управляемых цифровым входом, которые подключают резисторы делителя напряжения.



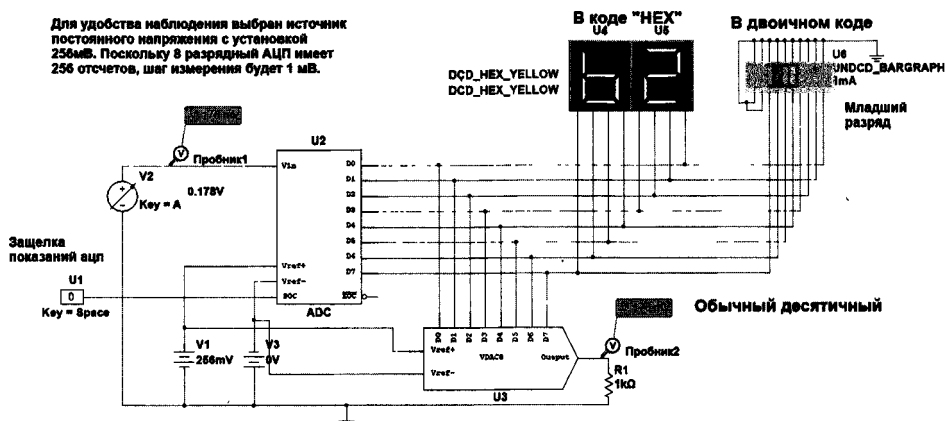
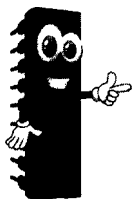


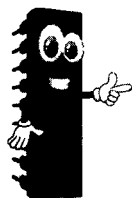
Рис. 12.6. Виртуальные АЦП и ЦАП

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

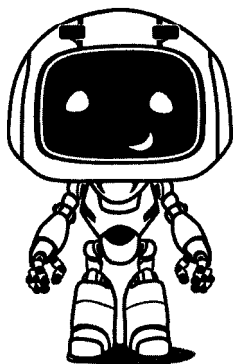
Компонент ЦАП, показанный на рис. 12.4, можно найти в группе Mixed→ADC\_DAC→IDAC. И еще, белый цвет фона графики задан по умолчанию, достаточно использовать переключатель фона в окне графики.

Интересный опыт можно провести с виртуальными микросхемами АЦП и ЦАП (рис. 12.6).

Запустив моделирование, можно нажать и удерживать клавишу А на клавиатуре, что увеличит напряжение источника V2. Задав нужное напряжение, нажимаем пробел на клавиатуре, получаем цифровое значение от АЦП. При этом ЦАП покажет это значение в привычном для нас виде, которое показывает Пробник 2.

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

Регулируемый источник V2 можно найти в группе Sources: SIGNAL\_VOLTAGE\_SOURCES→DC\_INTERACTIVE\_VOLTAGE. Найти ЦАП проще всего, если использовать поиск в менеджере компонентов (Search), где в поле Component следует ввести VDAC.

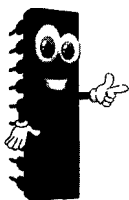


# НЕКОТОРЫЕ АНАЛОГОВЫЕ и ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА

**Новичок:** *А в Multisim можно моделировать только самые простые схемы?*

Конечно, нет. Но не следует забывать, что компоненты, например, резисторы и конденсаторы, имеют разброс параметров. Это в программе Multisim учитывается. Но и полупроводниковые приборы, и микросхемы, в частности цифровые, могут иметь разброс параметров. Более того, некоторые цифровые микросхемы могут ориентироваться на логику работы, что не всегда отвечает их работе в «железе».

Чтобы не было сомнений относительно моделирования простых схем, вот более сложные схемы.



## ПРИМЕЧАНИЕ.

Ряд схем, представленных ниже, публикуются с согласия их автора А.В. Салищева, которому я выражаю свою признательность от моего и вашего имени, некоторые из схем были проверены на макете. Кроме того я воспользуюсь книгой Шустова М.А. [4], которую советую вам прочитать.

# Высокочастотный усилитель на 433 и 800 МГц

Оба каскада усилителя (рис. 13.1) собраны на СВЧ транзисторах Q1 и Q2, включенных по схеме с общим эмиттером. Нагрузка обоих транзисторов индуктивная. Второй транзистор имеет резистор отрицательной обратной связи R2.

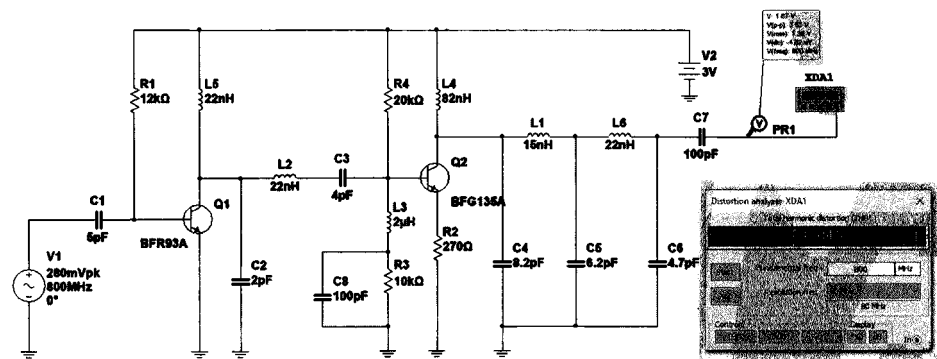


Рис. 13.1. Схема усилителя

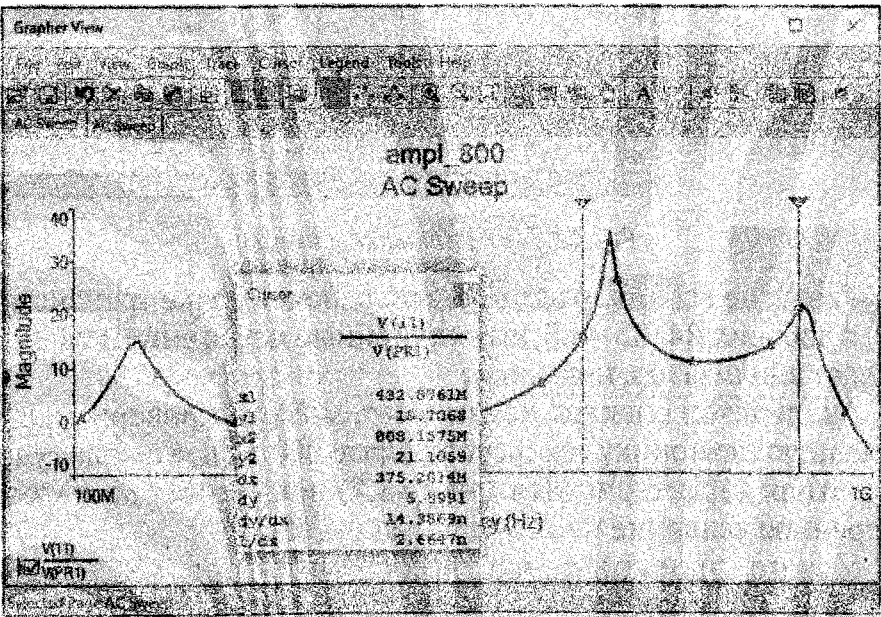


Рис. 13.2. Амплитудно-частотная характеристика усилителя

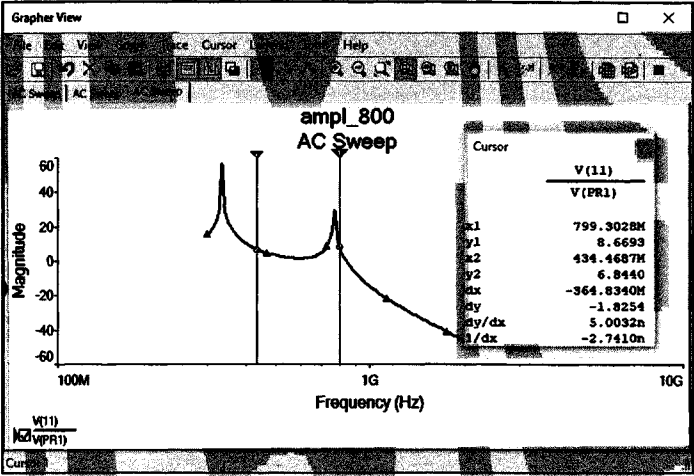
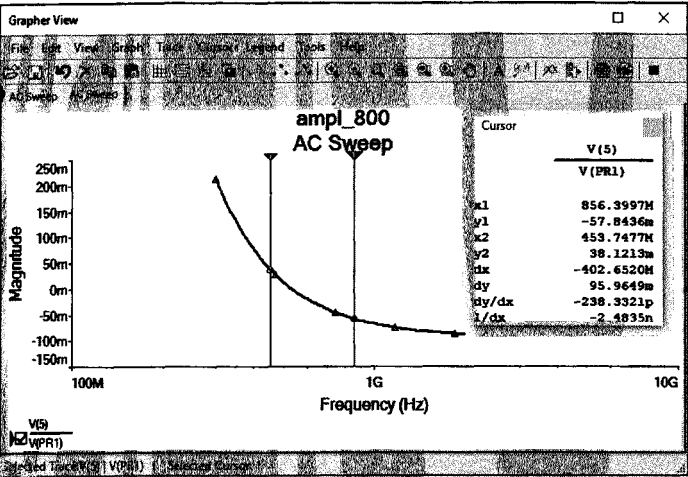
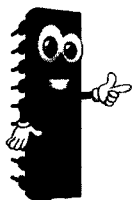


Рис. 13.3. АЧХ фильтров схемы

Чтобы не возникло вопросов по рабочей точке транзистора Q2, я добавил R4, R3 и C8, но нелинейные искажения, как показывает анализатор, невелики.

Анализатор спектра показывает, можете проверить, тоже основную гармонику генератора около 800 МГц, а амплитудно-частотная характеристика (рис. 13.2) показывает достаточно уверенное усиление на задуманных частотах.

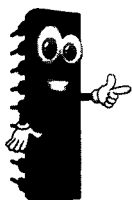
Можно проверить настройку фильтров C2L2C3L3 и C4L1C5L6C6, посмотрим их амплитудно-частотные характеристики (рис. 13.3).

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

*В версии программы 14.1 после работы с анализом амплитудно-частотной характеристики, если вам захочется посмотреть сигнал на осциллографе, не забудьте в диалоге симуляции включить интерактивный режим (Interactive Simulation).*

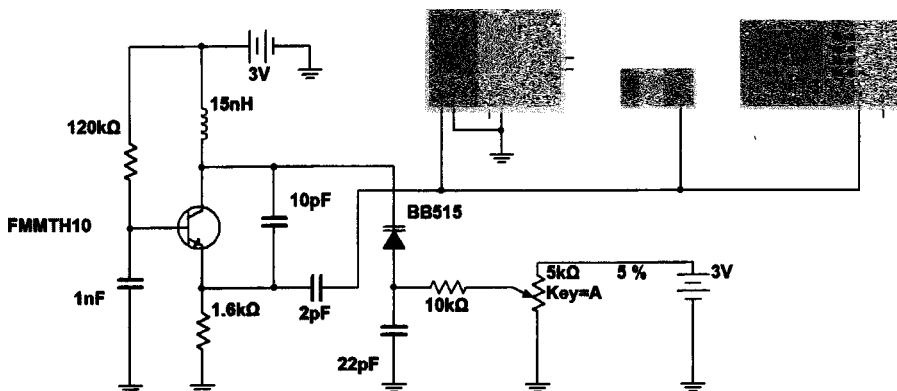
## Перестраиваемый генератор

В данном случае используется способность диода (BB512) работать в качестве конденсатора.

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

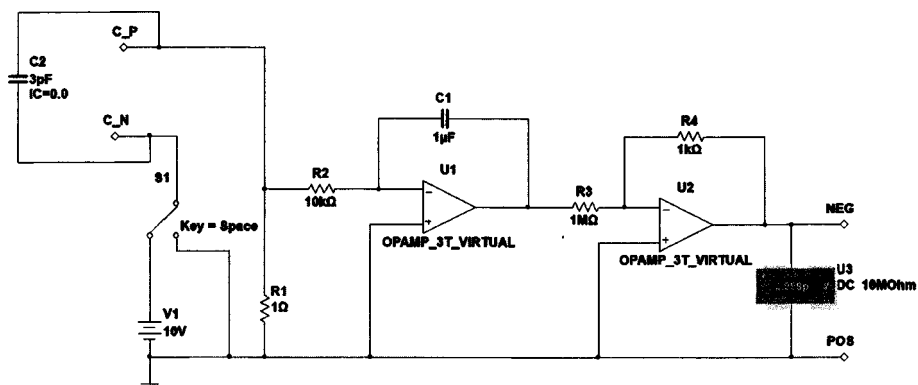
*Диоды специальной конструкции называют варикапами — конденсаторами переменной емкости.*

При изменении напряжения на варикапе меняется его емкость. В данной схеме (рис. 13.4), используя клавишу А



**Рис. 13.4.** Схема перестраиваемого генератора



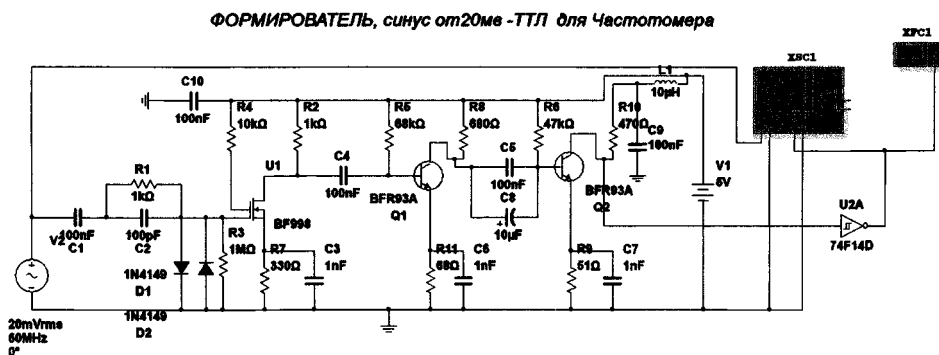


**Рис. 13.6. Схема измерителя емкости**

Номиналы деталей подобраны так, что вольтметр программы Multisim показывает не только величину емкости конденсатора C3, но и единицы измерения.

## Формирователь для работы с частотомером

Поскольку работающей модели транзистора U1 BF998 в программе не нашлось, схему (рис. 13.7) пришлось несколько изменить (рис. 13.8).



**Рис. 13.7.** Схема формирователя напряжения

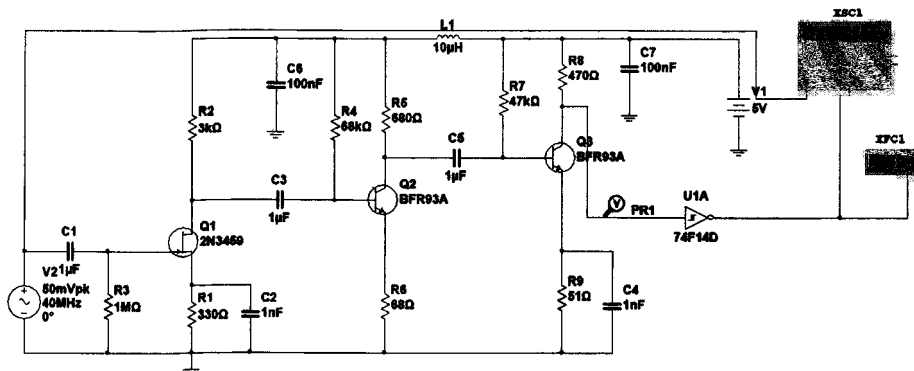
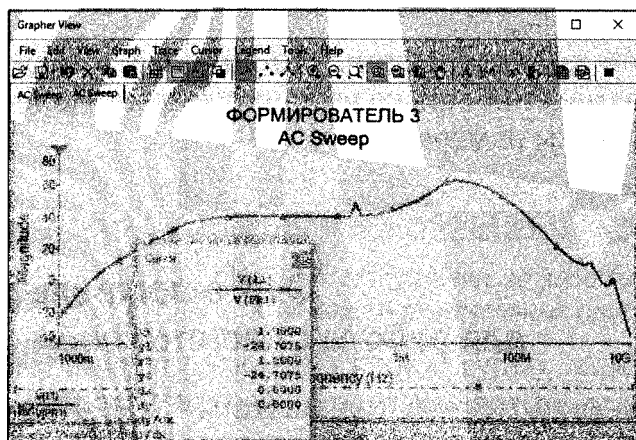
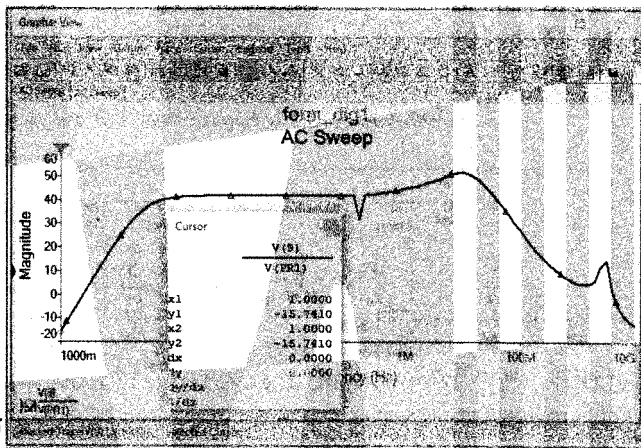


Рис. 13.8. Модифицированная схема формирователя



а



б

Рис. 13.9. Сравнение АЧХ двух схем:  
а) АЧХ оригинала; б) АЧХ измененной схемы



Конечно, верхняя рабочая частота транзистора BF998 может достигать 1 ГГц, что я не могу сказать о транзисторе 2N3459, но основную идею схемы это не меняет. В переделанной модели нет диодов на входе. Обычно их ставят для защиты входного каскада от перегрузки, но при моделировании это не обязательно.

Сравним амплитудно-частотные характеристики оригинала и переделанной модели (рис. 13.9).

**Новичок:** *А для чего эта схема?*

Многие мультиметры, имеющие возможность измерять частоту, ориентируются на уровень сигнала в несколько сотен милливольт. А если приходится измерять частоту сигнала с меньшим напряжением, то приходится усиливать сигнал перед подачей на вход мультиметра.

Данный трехкаскадный усилитель обеспечивает необходимое усиление, а вентиль со свойствами триггера Шмитта, 74F14D, превращает сигналы в прямоугольные импульсы.

## Очень простой таймер

Цифровые микросхемы, подчас, существенно упрощают построение электронных схем (рис. 13.10). Схема таймера при замыкании ключа S1: на входе U1A высокий уровень напряжения, светодиод LED1 не горит, поскольку на выходе U1A низкий уровень напряжения.

При размыкании ключа S1 конденсатор C1 заряжается через резистор R1. Пока напряжение на нем не достигнет уровня переключения вентилля, светодиод выключен. А когда напряжение перейдет уровень переключения, светодиод загорится.

Вместо светодиода можно включить транзисторный ключ с реле, контактами которого включать или выключать лампу (так раньше печатали фотографии).

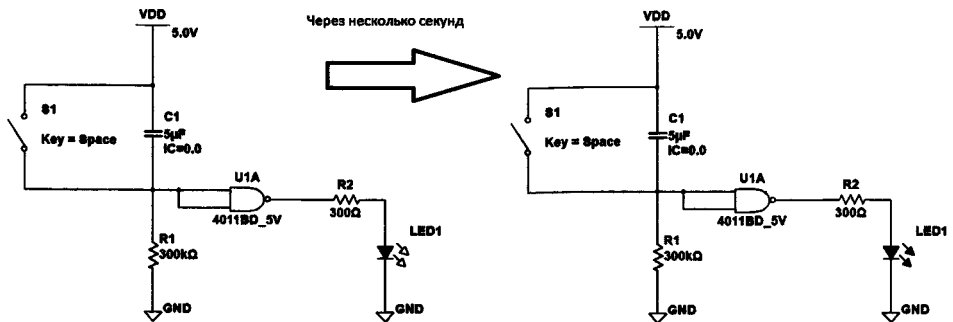
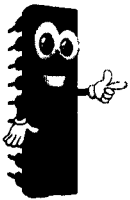


Рис. 13.10. Схема таймера на цифровой микросхеме

## Цифровой генератор с регулировкой длительности импульсов

Скважность импульсов можно менять (рис. 13.11), используя латинскую букву «В» на клавиатуре. При этом частота, как показывает верхний частотомер, остается неизменной.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

Ранее при моделировании работы схемы использовались два двухканальных виртуальных осциллографа. В данном случае использованы два виртуальных частотомера. Это работает.

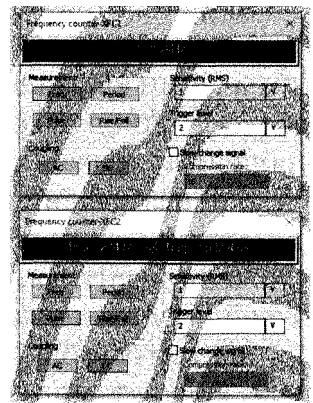
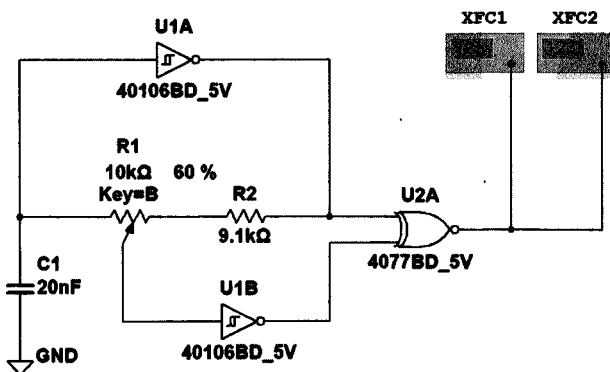


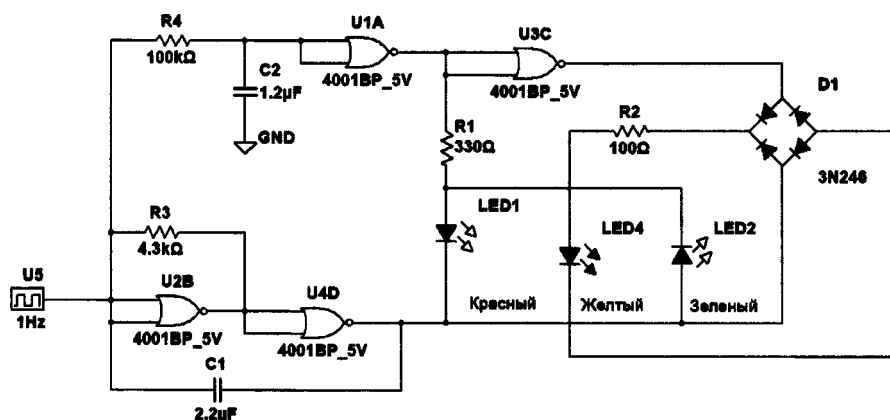
Рис. 13.11. Схема генератора импульсов с регулировкой скважности



# Светофор на цифровых микросхемах

Здесь генератор U5 (рис. 13.13) нужен только для моделирования, поскольку генератор на микросхемах U2B, U4D работать не захотел. И емкость конденсатора C2 изменена для улучшения моделирования.

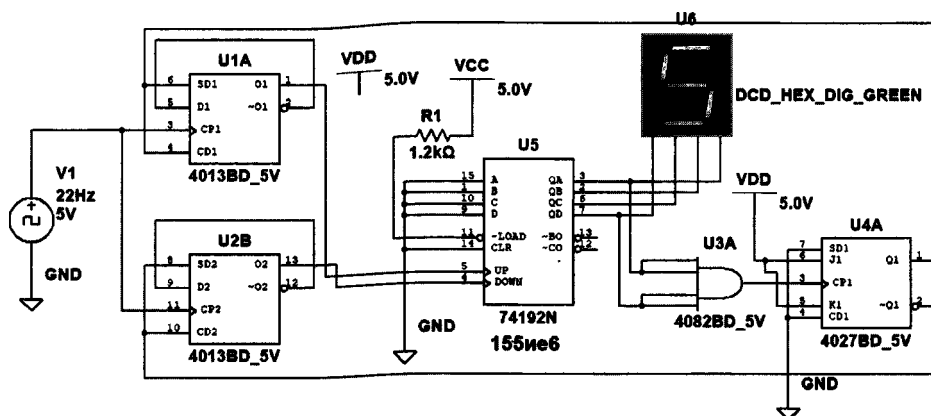
Работа генератора определяется цепью R3C1. Частота генератора выбирается такой, чтобы светодиоды горели некоторое время, но не слишком долго. Желтый огонек светофора горит по времени, определяемому цепью R4C2. Диодный мост D1 нужен для того, чтобы осуществить переход между красным и зеленым огнями светофора. В этом можно убедиться, убрав мост и включив LED4 без него. Желтый индикатор горит в то время, когда на выходах U1A и U4D одинаковый уровень.



**Рис. 13.13.** Схема простого светофора на цифровых микросхемах

## Реверсивный счетчик

Микросхема реверсивного счетчика (рис. 13.14) 74192N имеет входы предустановки А, В, С, D. Загрузка предварительных данных осуществляется изменением состояния входа ~LOAD. Вход CLR служит для установки счетчика в исходное

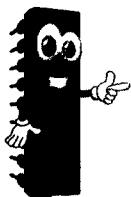


**Рис. 13.14.** Моделирование схемы реверсивного счетчика

состояние. Подачей импульсов на вход UP или DOWN осуществляется прямой или обратный счет импульсов.

Переключение направления счета осуществляется триггером 4027. Происходит это тогда, когда на выходе счетчика появляется число 9 (единица на выходах QA и QD).

## Чтение ПЗУ



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Этот пример работает в 13 версии Multisim, но не в 14.*

Схема, приведенная на **рис. 13.15**, иллюстрирует процесс чтения данных из ПЗУ, которые ранее были записаны с помощью программатора. Для чтения данных используются счетчики 74LS161N.

**Клавиша 2** на клавиатуре выполняет обнуление счетчиков. **Клавиша 3** переключает режим работы, автоматический или

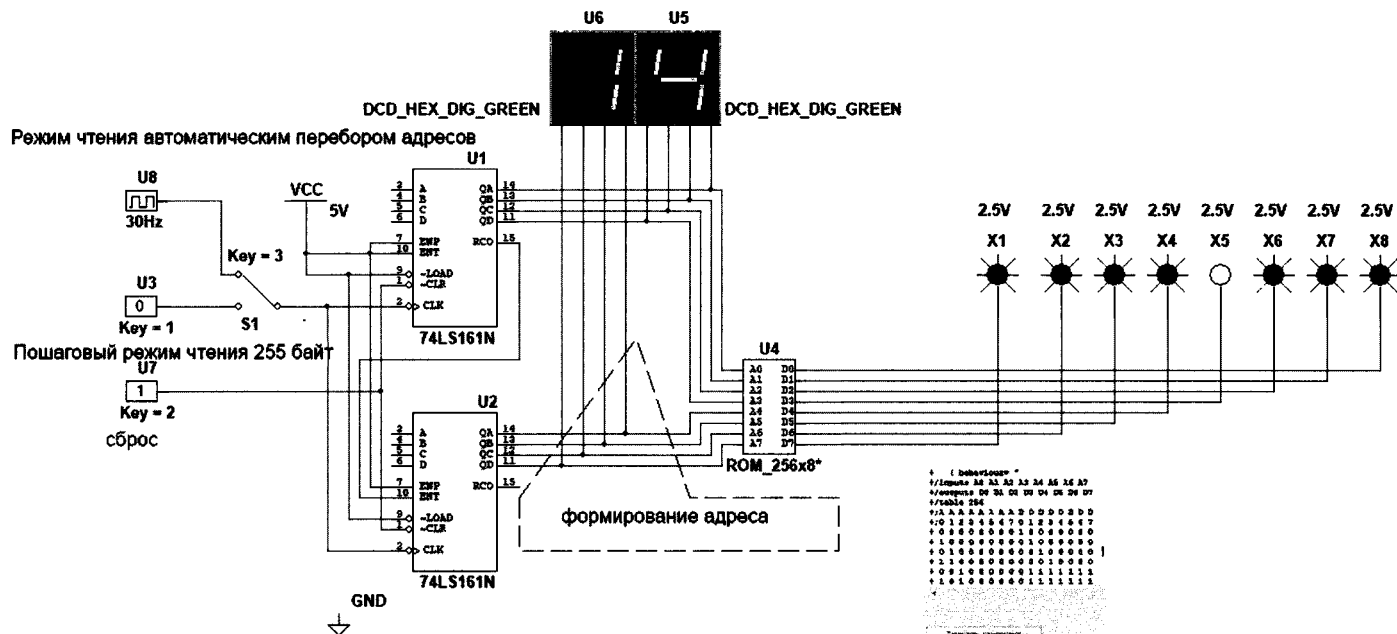


Рис. 13.15. Принцип чтения ПЗУ

пошаговый. При пошаговом режиме используется **клавиша 1** для управления активным элементом «цифровая константа».

Элемент U4, конечно, не полнофункциональная микросхема ПЗУ, а скорее массив данных расположенных по заданным адресам; данных, которые можно вывести при обращении к этому элементу.

## Работа шагового двигателя || с применением контроллера ||

Шаговый двигатель требует определенного формирования импульсов, подаваемых на его обмотки. Этот пример (рис. 13.16) показывает моделирование работы схемы управления шаговым двигателем. Схема требует использования ключей, транзисторы Q1—Q4, и контроллера, микросхема U1.

Шаговый двигатель можно найти в группе:

*Electro\_Mechanical* → *MACHINES* →  
*STEPPER\_MOTOR\_2PHASE\_2WINDING*.

Контроллер шагового двигателя находится в группе:

*Electro\_Mechanical* → *MOTION\_CONTROLLERS* →  
*STEPPER\_FULLSTEP\_2PHASE*.

Компонент U2:

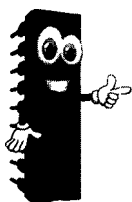
*Electro\_Mechanical* → *MOTION\_CONTROLLERS* →  
*RAD\_TO\_DEG*.

Компонент U3:

*Electro\_Mechanical* → *MECHANICAL\_LOADS* →  
*ARBITRARY\_LOAD*.



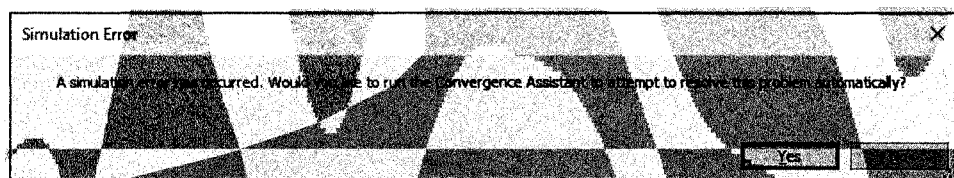


**ПРИМЕЧАНИЕ.**

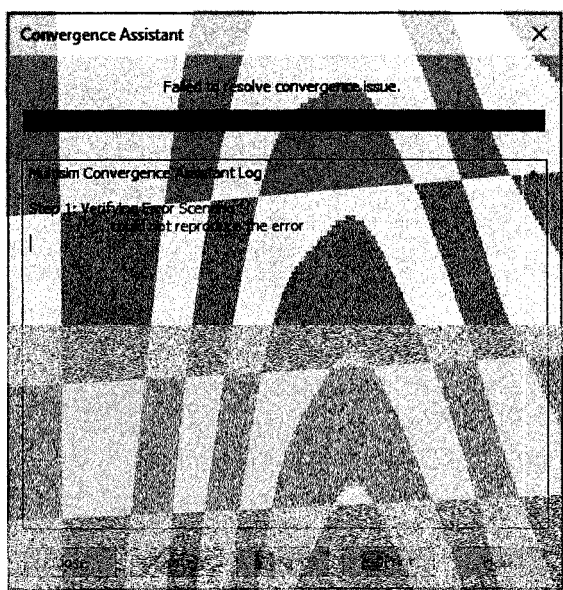
*Выполняя моделирование схем, вы можете столкнуться с проблемой расходящегося решения. Появится сообщение об этой ошибке (рис. 13.17).*

Кроме того, вы получаете предложение воспользоваться услугами *Convergence Assistant*. Если вы согласны, нажмите кнопку **Yes**. Если ассистент сможет исправить ошибку, он это сделает, иначе скажет, что ошибку исправить не получается (рис. 13.18).

Ошибка появилась при наблюдении за сигналом на экране осциллографа (рис. 13.19).



**Рис. 13.17.** Сообщение об ошибке



**Рис. 13.18.** Работа ассистента по устранению расходимости



## Модель сверлильного станка

Это пример моделирования работы станка (рис. 13.20). Как и предыдущий пример, он показывает и то, как можно оформить свой проект. Сохраняя проекты в базе данных, вы всегда можете воспользоваться своими наработками. Не стоит пренебрегать хорошим оформлением работы и подробным описанием. И то, и другое впоследствии пригодится.

Компоненты:

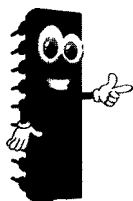
- ♦ M1 *MACHINES*→*DC\_MACHIN\_PERMANENT\_MAGNET*;
- ♦ U1—U8 *Electro\_Mechanical*→*MECHANICAL\_LOADS*→*GEARS*;
- ♦ U7 *SENSORS*→*INCREMENTAL\_ENCODER*.

## Модель транспортера

Базовый компонент: *Advansed\_Peripherals*→*MISC\_PERIPHERALS*→*CONVEYOR\_BELT*.

Используя клавиши 1—4 клавиатуры, можно перемещать ящик по транспортеру (рис. 13.21) вперед и назад, останавливать его и загружать. Переменный резистор R1 меняет скорость движения груза.

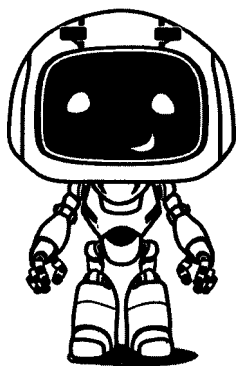
Это моделирование — пример демонстрационно-учебного приложения Multisim.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

Для графического представления схемы можно использовать другой стандарт, который доступен в Multisim.





# ИССЛЕДОВАНИЕ В MULTISIM

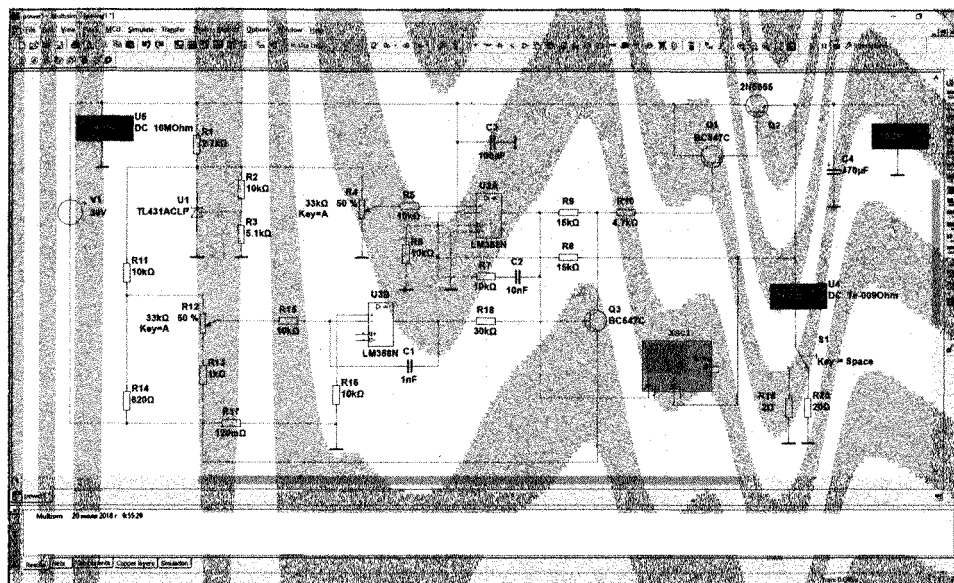
**Новичок:** *Я понял, что в Multisim можно моделировать и простые, и сложные схемы. Но что дает моделирование?*

В первую очередь, моделирование позволяет проверить, будет работать схема или нет. Во многих случаях можно проверить правильность выбора компонентов. Но в программе Multisim можно проводить и исследования.

Я не буду придумывать что-то свое, а перескажу статью моих давних знакомых Сергея Скворцова и Вадима Смирнова из Омска, оригинал которой можно найти на моем сайте [6]. Статья написана довольно давно в 2008 году, но это не умаляет значения исследования. Схему я перерисую в последней на сегодня версии Multisim, пока есть такая возможность.

## Схема опыта || со стабилизированным блоком питания ||

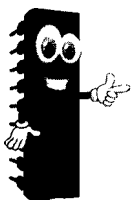
Я использовал стандарт графики схемы, который ближе к тому, что в оригинальной схеме. Свой вид, как вы заметили, изменили не только резисторы, но и источник постоянного напряжения, и операционный усилитель, и переключатель, и электролитический конденсатор.



**Рис. 14.1.** Схема стабилизатора

### Новичок: А какой стандарт лучше?

Не думаю, что стандарты бывают плохие и хорошие. Если стандарт не удовлетворяет потребностям производства, его могут пересмотреть. Но само производство решает, какого стандарта придерживаться. Многие ГОСТы раньше носили рекомендательный характер, но были и такие, которые были обязательны для исполнения.



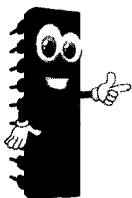
### ПРИМЕЧАНИЕ.

Как пишут авторы статьи: цель публикации – обратить внимание радиолюбителей на некоторые практические моменты проверки и отладки схем с помощью Multisim.

А это и представляет наибольший интерес в данном случае.

## Исследование динамических параметров блока питания в NI Multisim

В качестве примера работы с программой Multisim была использована схема блока питания из познавательной практической статьи Зызюк А.Г. «Блок питания ремонтника-радиолобителя с возможностью плавной регулировки стабилизируемого тока» [2].



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*К сожалению, в ней не указаны даже примерные значения емкости конденсаторов C1 и C2 (все приведенные ниже позиционные обозначения элементов соответствуют схеме из статьи). Поэтому перед макетированием схемы, решено было исследовать ее работу в программе NI Multisim 10 с целью определения их номинальных значений.*

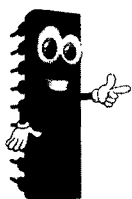
В рабочей области, поле чертежа, была собрана схема (рис. 14.1). Элементы индикации в модель не включались, а к выходу стабилизатора была подключена активная нагрузка, переключаемая контактами тумблера:

- ♦ 20 Ом (для режима стабилизации напряжения);
- ♦ 2 Ома (для режима стабилизации тока).

Движки потенциометров R4 и R12 были установлены в среднее положение, которые определяют:

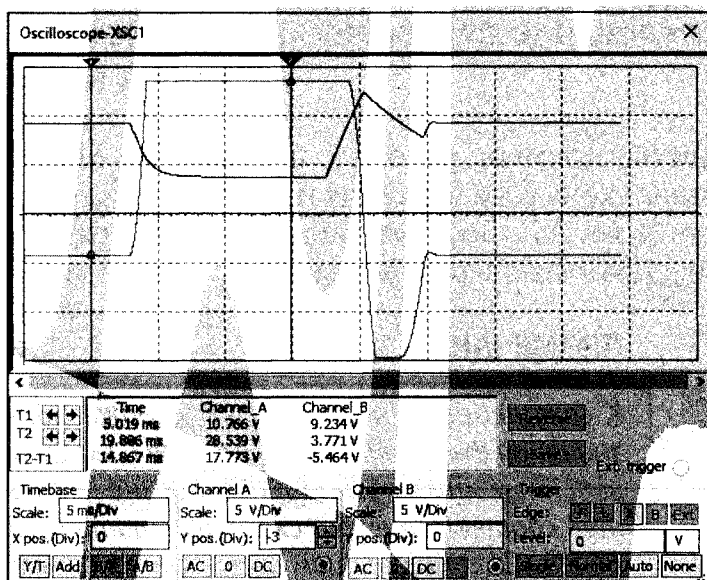
- ♦ выходное стабилизированное напряжение равным 9,23 В;
- ♦ стабилизированный ток — 1,98 А (при переключении S1).

Модель «заработала» сразу и показала заявленные автором технические параметры.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Одно уточнение — нижний предел регулирования тока стабилизации ограничен снизу резистором R13 на уровне около 100 мА (в статье заявлен 0).*



**Рис. 14.2.** Осциллограмма работы схемы при переключении нагрузки

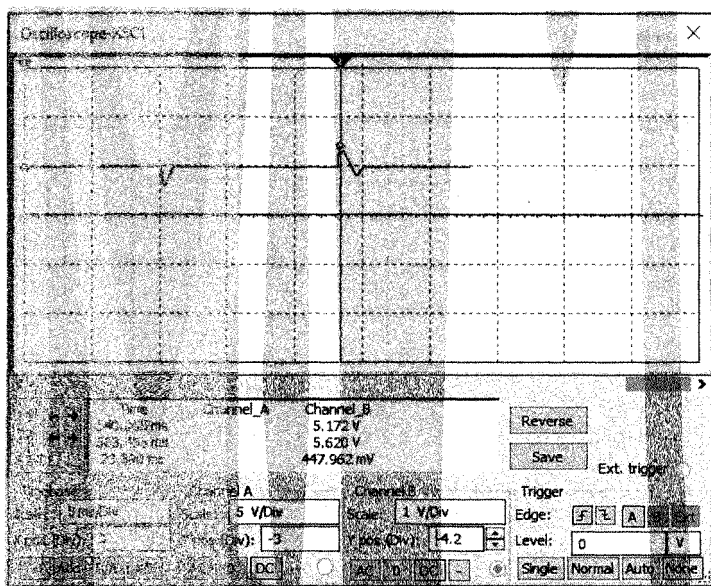
По наилучшим динамическим параметрам блока питания были определены значения емкости конденсаторов  $C1 = 1$  нФ и  $C2 = 10$  нФ. Их оптимальные значения необходимо уточнить в реальной конструкции.

На **рис. 14.2** представлен экран виртуального осциллографа Multisim, показан процесс моделирования работы схемы при переключении нагрузки.

На **рис. 14.2** вход канала В (Channel В, черный «луч») подключен к эмиттеру транзистора Q2, выходу блока питания. Вход канала А (Channel А, светлый «луч») — к выходу ОУ U2A. Цена деления по шкале X (Timebase-Scale) — 5 мс/дел. Цена деления (Scale) по шкале Y для обоих каналов — 5 В/дел. Сигнал канала А для удобства просмотра смещен по оси Y (Channel А — Y position) на 3 деления вниз.

Как видно из осциллограммы (сигнал канала В, черный «луч») на **рис. 14.2**, процесс перехода схемы из режима стабилизации выходного напряжения в режим стабилизации выходного тока протекает «классически». За 5 мс выходное напряжение устанавливается на новом уровне, соответствующем заданному току стабилизации. Это время определяется параметрами нагрузки и значением емкости конденсатора C4.





**Рис. 14.3.** Исследование схемы при выходном напряжении около 5 В

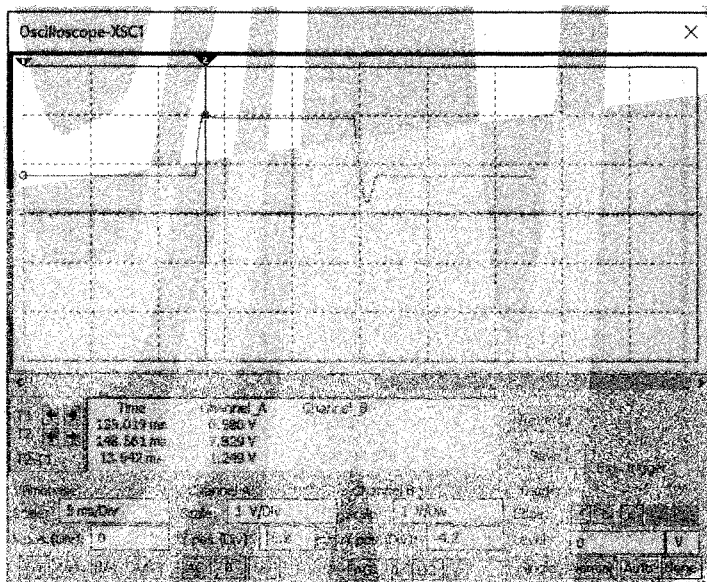
Обратный процесс, то есть, переход блока питания из режима стабилизации выходного тока в режим стабилизации выходного напряжения, затянут (до 8 мс) и сопровождается заметным выбросом выходного напряжения (перерегулирование около 30%).

На **рис. 14.3** осциллограмма процесса моделирования работы схемы при более низком выходном напряжении (около 5 В).

Как видно, переход блока питания из режима стабилизации выходного тока в режим стабилизации выходного напряжения, также заметно затянут и сопровождается выбросом выходного напряжения (почти до 6 В), что может оказаться пагубным для исследуемой при этом напряжении схемы.

Если посмотреть на характер изменения напряжения на выходе ОУ U2A (**рис. 14.4**), становится ясной причина такого поведения схемы стабилизатора.

В режиме стабилизации выходного тока транзистор Q3, открываясь, снижает потенциал в точке соединения резисторов R9 и R10. При этом выходное напряжение блока питания также снижается. Операционный усилитель U2A отклиkaется



**Рис. 14.4.** Напряжение на выходе операционного усилителя

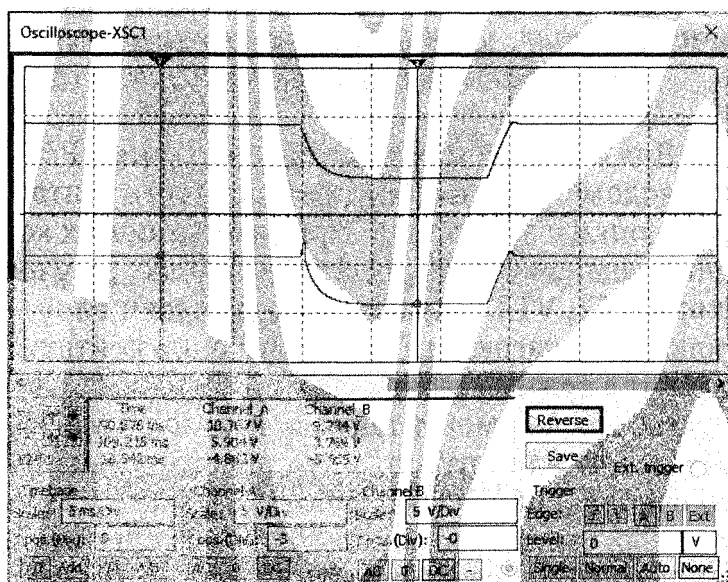
на это повышением своего выходного напряжения до «упора», входя в глубокое насыщение. Естественно, при возвращении в режим стабилизации выходного напряжения блока питания, когда транзистор Q3 закрыт, требуется большое время для установления операционного усилителя U2A в режим стабилизации.

Отсюда **вывод**: в режиме стабилизации тока операционный усилитель U2A не должен входить в глубокое насыщение.

**Новичок:** А можно устранить этот недостаток?

Можно! Предлагается, например, вариант простой доработки схемы, устраняющий указанный недостаток и улучшающий ее динамические характеристики. Для этого резистор R5 = 10 кОм заменяется двумя последовательно соединенными резисторами R5.1 и R5.2 по 5,1 кОм каждый, а коллектор транзистора Q3 отсоединяется от резисторов R9, R10 и подключается к точке соединения R5.1, R5.2.

Для устранения возбуждения операционного усилителя U3B в цепь обратной связи добавлен резистор 1 кОм (R22). Такую



**Рис. 14.5.** Работа модифицированной схемы

доработку несложно выполнить в уже готовой конструкции. В такой доработанной схеме в режиме стабилизации выходного напряжения транзистор Q3 закрыт и влияния на работу схемы практически не оказывает.

В режиме стабилизации выходного тока транзистор Q3, открываясь, снижает напряжение задания ОУ U2A до уровня, соответствующего установленному току стабилизации.

На **рис. 14.5** представлена осциллограмма процесса моделирования поведения доработанной схемы.

Положительный результат доработки налицо. Как видно из осциллограммы на **рис. 14.5**, процесс перехода схемы из режима стабилизации выходного напряжения в режим стабилизации выходного тока не изменился. Обратный процесс, то есть, переход блока питания из режима стабилизации выходного тока в режим стабилизации выходного напряжения, теперь приобрел «классический» вид (перерегулирование не более 2%, время установления сократилось с 8 до 2 мс). ОУ U2A работает в линейном режиме.

**Новичок:** Читал, что можно включением/выключением нагрузки управлять «электронным» способом.

Верно! Для этого между точкой соединения R5.1, R5.2 и общим проводом схемы необходимо включить контакты тумблера или кнопки с фиксацией. При замыкании их контактов напряжение задания ОУ U2A будет равно нулю, регулирующие транзисторы VT1, VT2 закроются, фактически блок питания будет отключен от нагрузки. При размыкании контактов схема быстро входит в режим стабилизации.

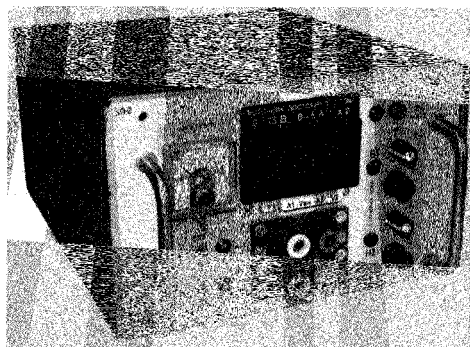
В качестве ключей могут также использоваться маломощные транзисторы или оптроны. Это положительно скажется, в первую очередь, на ресурсе работы сетевого трансформатора и мощных выпрямительных диодов за счет исключения импульсных экстратоков в моменты включения нагрузки.

Визуально в Multisim это удобно наблюдать с помощью токового пробника, который эмулирует поведение промышленных токовых клещей. Ток, протекающий в проводе, преобразуется в напряжение, показываемое на выходных клеммах. Последние могут быть подключены к осциллографу, где ток определяется, основываясь на отношении напряжение/ток пробника.

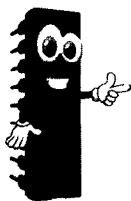
Таким образом, моделирование схемы блока питания позволило сэкономить время и силы на проверку конструкции, а также отладить устройство, не прибегая к паяльнику. Особо хочется отметить, что наблюдать переходные процессы в реальном устройстве без помощи запоминающего осциллографа невозможно. Multisim же позволяет это сделать.

С некоторыми примерами применения, полезными на начальном этапе освоения, можно ознакомиться посетив сайт «Международный технический портал Левши» [5].

Если у радиолюбителей станет обычным делом обмениваться не только схемами и чертежами печатных плат, но и файлами моделирования электронных устройств, то настоящая глава достигла своей цели.

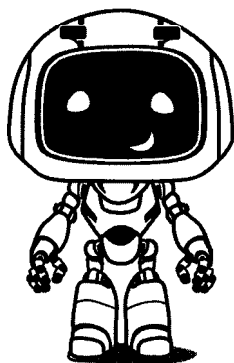


**Рис. 14.6.** Лабораторный блок питания с доработанной схемой



#### **ПРИМЕЧАНИЕ.**

*Тот, кто хочет проверить все выше сказанное, может использовать оригинальную статью и моделирование в Multisim 10. Для последующих версий следует добавить резистор 1 кОм последовательно с C1. А я могу добавить к этой информации только одно — мои знакомые длительное время пользуются лабораторным блоком питания, собранным по доработанной схеме (рис. 14.6).*



# АВТОМАТИКА

## Микроконтроллер

Цифровые микросхемы активно использовали в устройствах автоматики. Но особенный прорыв в схемотехнике устройств автоматики произошел с появлением **микропроцессоров**. А главное, с чем не все могут быть согласны, с появлением микроконтроллеров. Примеры устройств на цифровых схемах приведены в **главе 13**.

Временами использовались **смешанные аналого-цифровые схемы**. Очень удачным, с моей точки зрения, было создание микросхемы таймера 555. Эта микросхема в Multisim существует в двух видах (**рис. 15.1**). Найти микросхему можно в группе:

*Mixed*→*MIXED\_VIRTUAL*→*555\_VIRTUAL*.

Чаще всего любители используют микросхему для получения прямоугольных импульсов. Генератор получается достаточно стабильным в отношении частоты. И требуется добавить к микросхеме только несколько элементов (**рис. 15.2**).

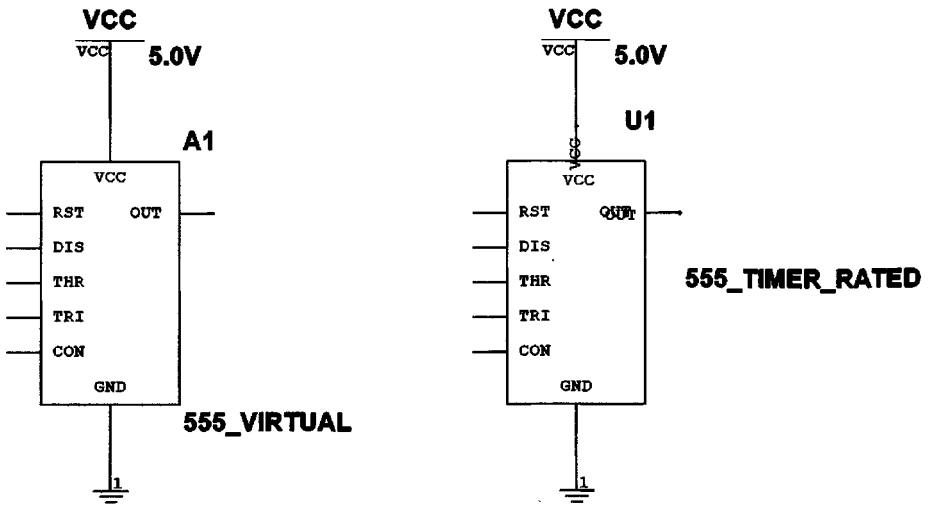


Рис. 15.1. Микросхема таймера 555 в программе Multisim

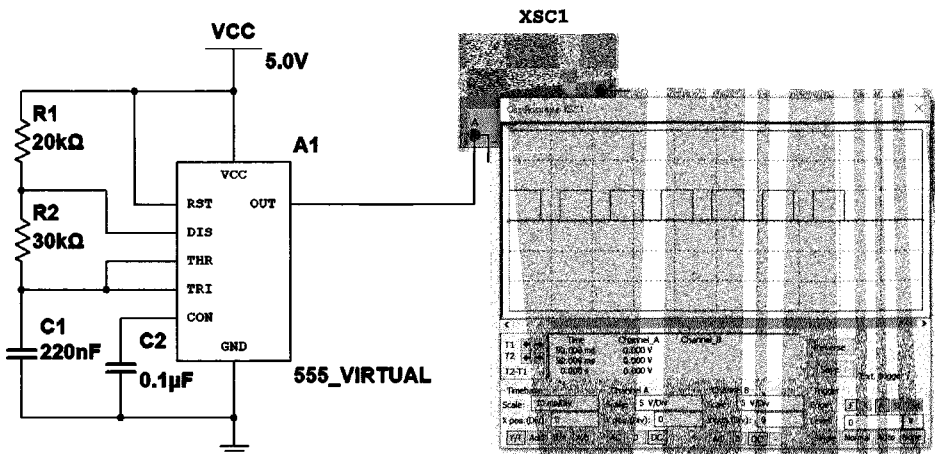


Рис. 15.2. Генератор на микросхеме таймера 555

**Новичок:** Я знаю, я встречал такую схему.

Реже любители применяют эту микросхему для формирования импульсов, хотя таймер задумывался и для этих целей. Он может работать в качестве «удлиителя» импульсов (рис. 15.3). Но может импульсы и укорачивать, например, формируя импульсы от кнопки (рис. 15.4).

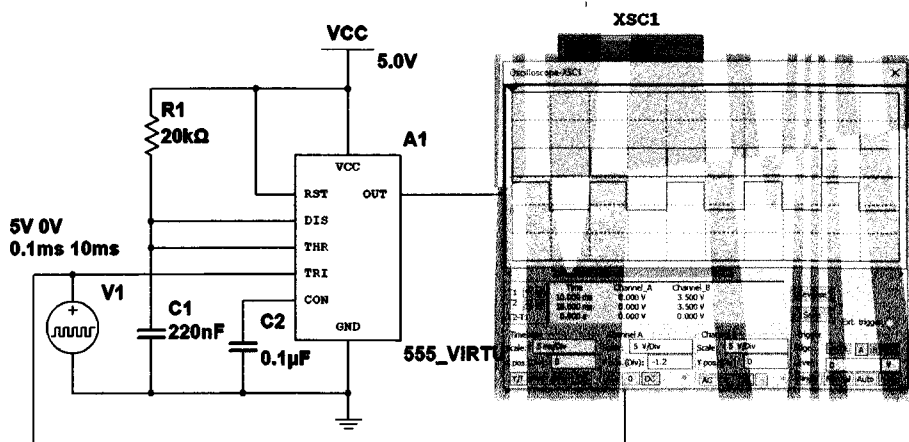


Рис. 15.3. Удлинитель импульсов на микросхеме 555

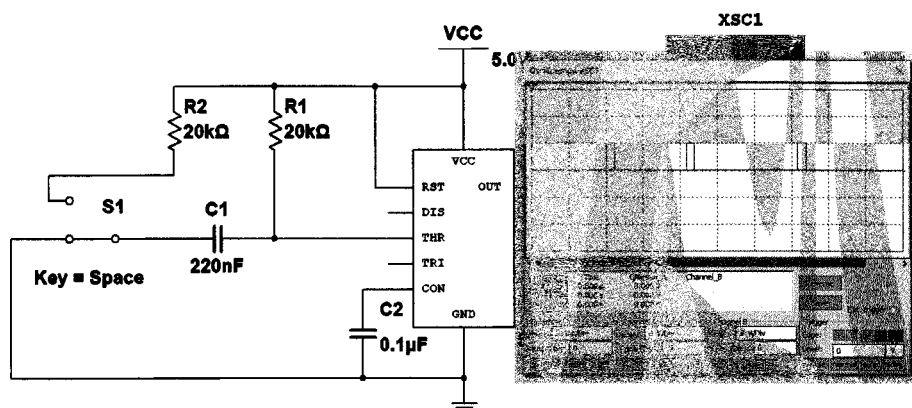


Рис. 15.4. Формирователь импульсов от кнопки

Микропроцессор возник не на пустом месте. Ранее разработанные микросхемы счетчиков, регистров, сумматоров и другие, вероятно, стали прообразом элементов микропроцессора. Первые микропроцессоры выпускали в виде низкоразрядных «чипов», имеющих четыре вывода данных. Чтобы получить байтовые операции, эти микросхемы объединяли.

С появлением микропроцессора Z80 возник любительский бум — многие собирали домашний компьютер, а кто-то собирал определитель номера для телефона. В программе



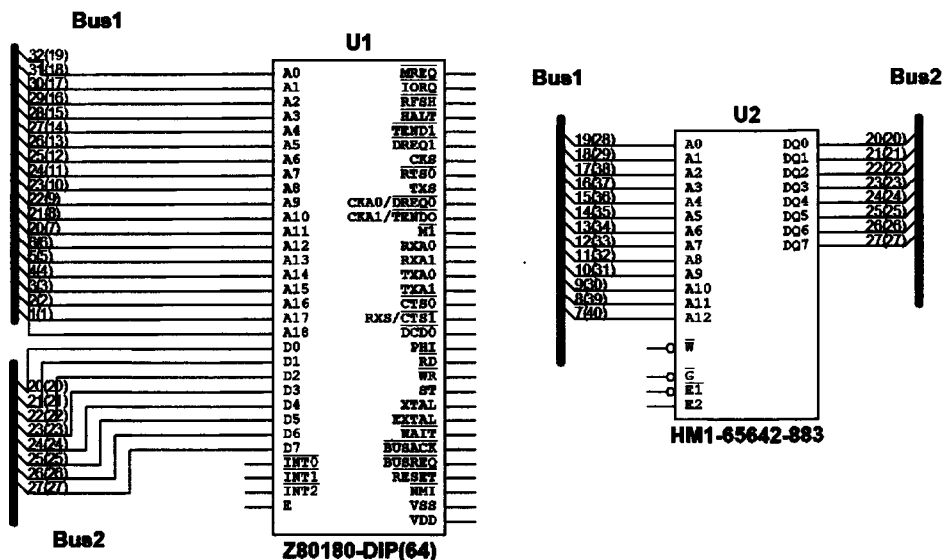


Рис. 15.5. Микропроцессор Z80 в программе Multisim

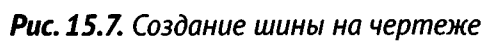
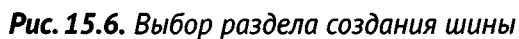
Multisim нет моделируемого микропроцессора Z80, но есть модель для рисования схем и других целей (рис. 15.5).

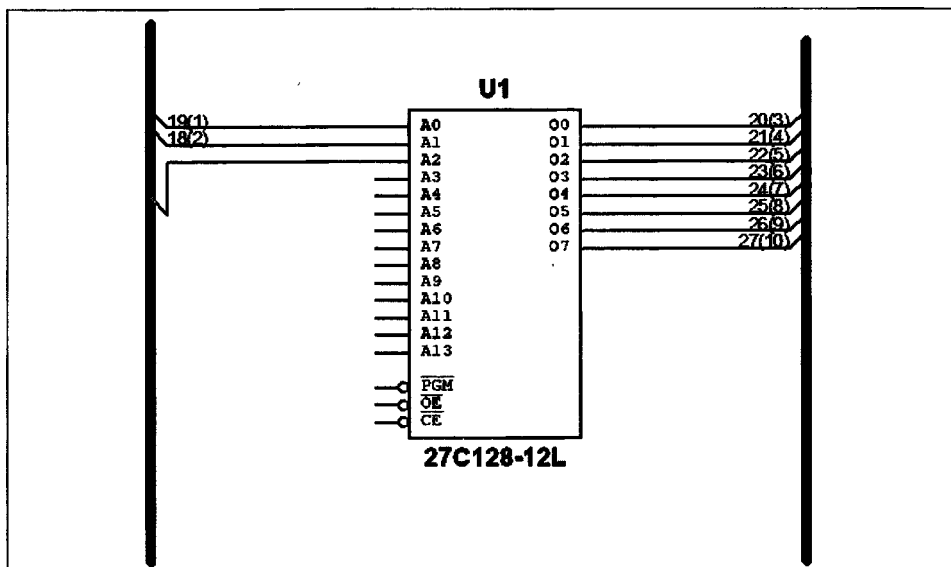
Микропроцессор обращается к микросхемам памяти, используя адресную шину (Bus1), и считывает данные на шине данных (Bus2). Применение шин, собирающих группу соединений на чертежах, возникло из-за трудностей чтения чертежа, когда каждый из проводников, представьте таким рис. 15.5, проведен отдельно.

**Новичок:** А шину можно применять только для микропроцессоров?

Нет, конечно. Но у микропроцессоров проще разбираться с назначением шины. В программе Multisim нарисовать шину не сложно. Щелкните правой клавишей мышки на свободном месте чертежа, выберите из выпадающего меню Bus (рис. 15.6).

Теперь щелкните в нужном месте чертежа левой клавишей мышки, проведите шину нужной длины, двойным щелчком левой клавиши мышки завершите построение (рис. 15.7).





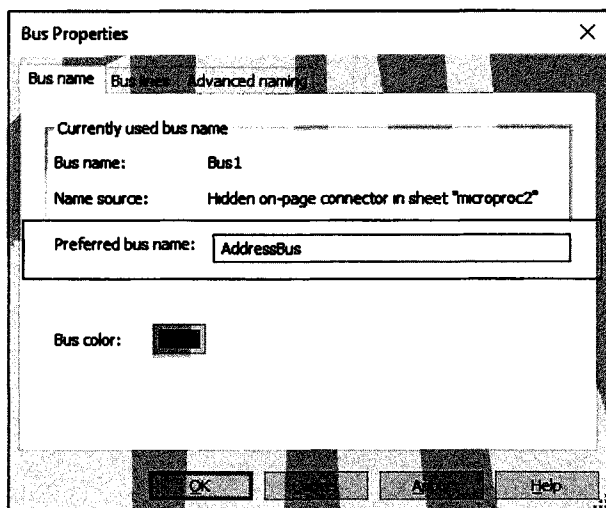
**Рис. 15.8.** Шины микросхемы ПЗУ для микропроцессора контроллера

Появление микропроцессоров существенно упростило создание и схем автоматики, и схем внешних устройств, контроллеров для компьютеров. Обычно контроллер снабжался микросхемой (или микросхемами) ПЗУ, где записывалась программа работы контроллера. Микросхема ПЗУ соединялась с адресной шиной и шиной данных микропроцессора (рис. 15.8).

**Новичок:** *А как процессор читает программу?*

Это отдельный разговор. При проведении соединений шины с микросхемой программа Multisim предлагает разные варианты. Перемещая курсор мышки, выбирайте тот вариант, который вам подходит больше. Завершается соединение с шиной щелчком левой клавиши мышки. В диалоге нумерации нужно проставить те же номера, что и у ранее созданной шины, подтверждая соединение в следующих диалогах.

Если на чертеже уже есть шины с именами *Bus1* и *Bus2*, нумерация шин продолжится. Но это можно изменить в диалоге свойств шины (рис. 15.9). И вы можете выбрать название



**Рис. 15.9.** Диалог свойств шины

шины, которое поясняет ее назначение. И еще, любители, создающие схемы для себя, могут использовать разный цвет шин.

Так для адресной шины использовать красный цвет, а для шины данных синий. Для сигнальной шины, есть у микропроцессорных устройств и такая, использовать зеленый цвет. Впоследствии схему будет легче читать.

Рассказ о шинах, применяемых в чертежах, несколько отвлек нас от микропроцессорной темы. Возвращаясь к ней, можно сказать, что появление новых видов памяти, усовершенствование технологии изготовления микросхем, позволили производителям создать новый удобный вариант контроллера — универсальный микроконтроллер.

Внутри этой новой микросхемы находится микропроцессор, оперативная память для временного хранения данных (переменных), постоянная перепрограммируемая память для хранения программы работы микроконтроллера. Микропроцессор окружен перепрограммируемыми портами ввода-вывода (несколько иначе устроенные, но похожие на регистры схемы). В итоге создание схем автоматики и схем контроллеров в большей мере сводится к написанию программы для микроконтроллера. В программе Multisim есть несколько моделей микроконтроллеров, которые можно моделировать.

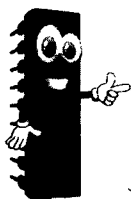
## Отдельный разговор

### **Новичок:** *Как микропроцессор работает с программой?*

В простейшем случае это выглядит так: у микропроцессора есть счетчик команд. При подключении питания счетчик сбрасывается, формируя нулевой адрес для начала работы. Вспомните вывод сброса у счетчиков!

Микропроцессор считывает первую команду по нулевому адресу ПЗУ. Программа записывается в последовательных ячейках памяти ПЗУ, а счетчик команд микропроцессора после считывания каждой команды увеличивает адрес на единицу. Так команда за командой процессор выполняет программу.

Конечно, реальная программа устроена сложнее — она не всегда линейная, есть ветвления программы, когда в счетчик команд вписывается новый адрес перехода.



### **ПРИМЕЧАНИЕ.**

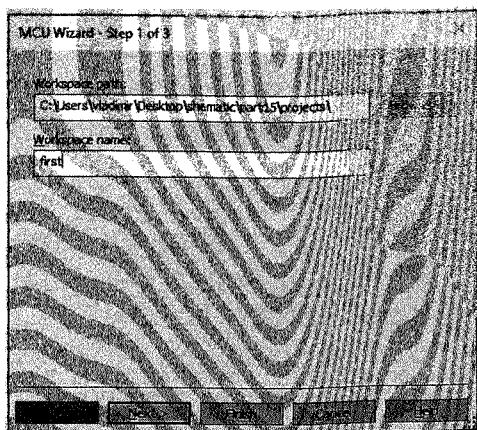
*Вспомните, что у счетчика есть входы предустановки! При ветвлениях программы новый адрес записывается через эти входы.*

Затем счетчик вновь увеличивает новый адрес на единицу и т. д. Иногда в ячейку памяти вписывается не только команда, но и данные для выполнения этой команды, тогда счетчик увеличивает адрес не на единицу, а на два или три, что определяется характером команды.

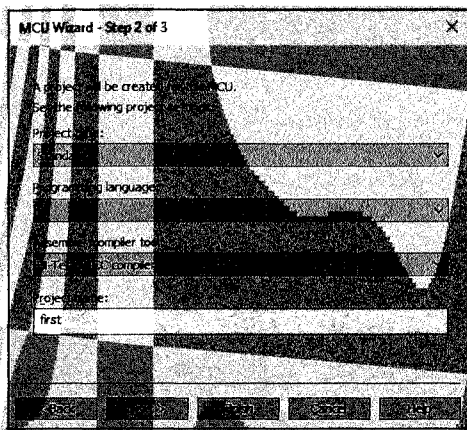
Выполнение команд зависит от правильного их расположения в памяти и правильной работы счетчика команд, поскольку и команды, и данные — это двоичные числа. Если счетчик собьется, то вместо команды микропроцессор прочитает данные и либо не поймет команды, либо выполнит неправильную команду. Тогда микропроцессор, что называется, зависнет.

Это самое простое представление о взаимодействии микропроцессора и программы его работы.





*Рис. 15.11. Диалог настройки проекта*



*Рис. 15.12. Страница выбора языка программирования, компилятора, имени проекта*

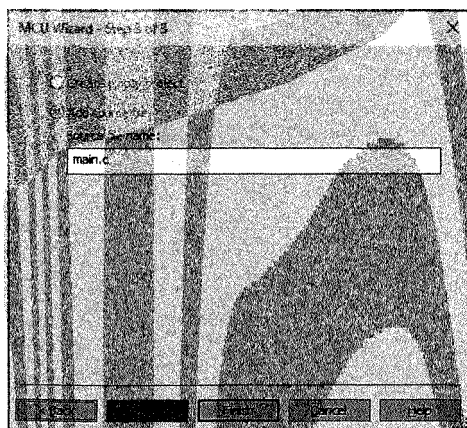
чаться, можно заглянуть. Хотя, конечно, с чтения этой справки и следовало бы начать.

После выбора модели вы попадаете в распоряжение помощника по организации проекта (рис. 15.11).

Сначала нужно указать место рабочей области (или оставить то, что задано по умолчанию), и нужно дать ей имя, я дал *first*. И, как вы уже догадались, кнопка **Next**. Она приводит нас на следующую страницу диалога (рис. 15.12).

Кнопка **Next** открывает следующую страницу для выбора — будете ли вы использовать шаблон (по умолчанию) или предпочтете использовать пустой лист (рис. 15.13).

Я предпочитаю шаблон *main.c*. Завершается процедура нажатием кнопки **Finish**. В поле чертежа появится микроконтроллер. Он может появиться в виде пустого прямоугольника с выводами.



*Рис. 15.13. Выбор шаблона основного файла программы*

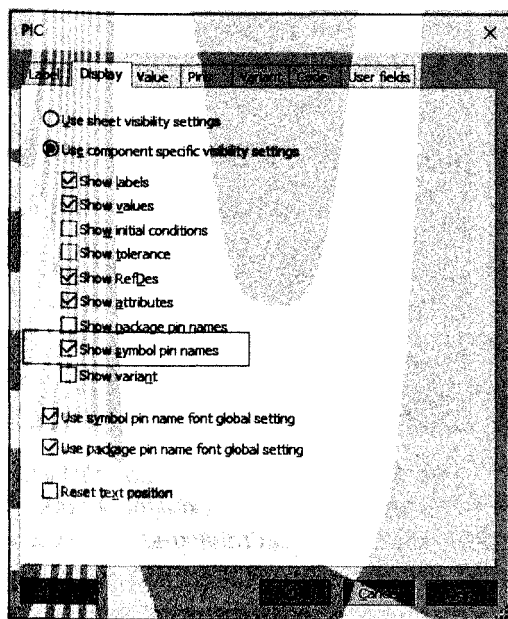


Рис. 15.14. Выбор графики с именами выводов

мы будем моделировать проект, станет ясно, зачем это было нужно.

Добавим цифровой пробник (*Indicators*→*PROBE*→*PROBE\_DIG\_RED*). Его можно добавить к любому выводу, но проще сделать так, как нарисовано (рис. 15.15).

Работать схема, конечно, не будет, пока мы не договоримся с микроконтроллером, объяснив ему, что мы от него ожидаем.

Удобнее работать с выводами, которые обозначены, поэтому загляните в свойства компонента и на закладке *Display* отметьте флажком «Показывать имена выводов символа» (рис. 15.14).

Подключим питание (группа *Sources*→*POWER\_SOURCES*), соединим вывод MCLR с плюсом питающего напряжения.

**Новичок:** Зачем?

Попробуйте отключить его чуть позже, когда

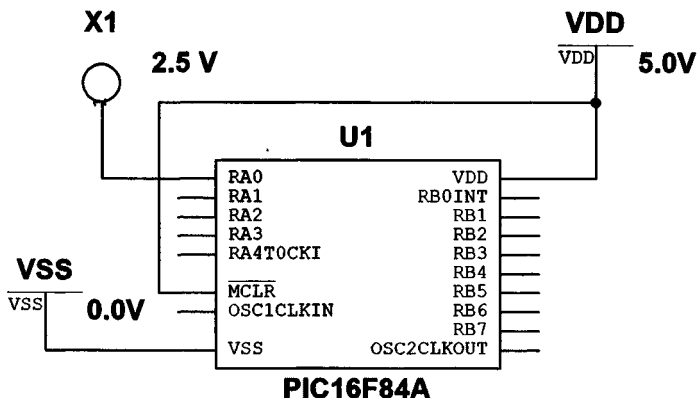
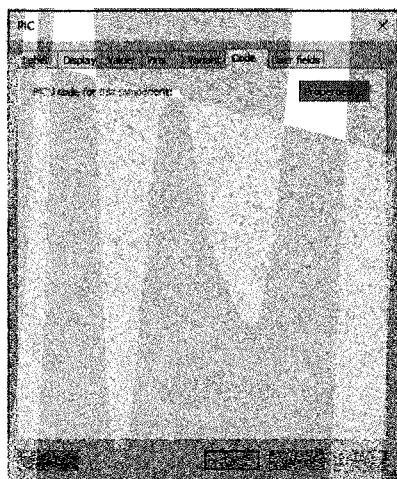
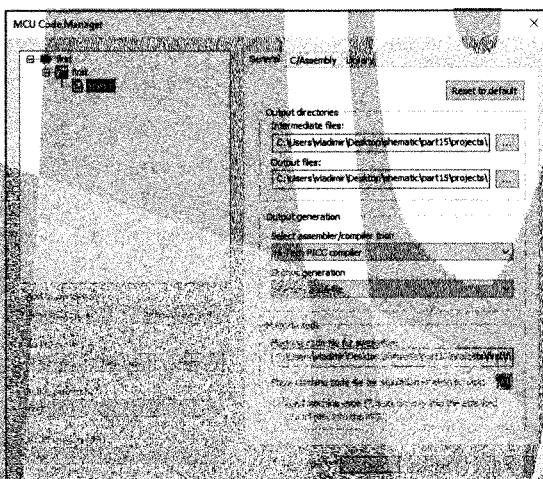


Рис. 15.15. Чертеж для опыта с микроконтроллером





**Рис. 15.16.** Выбор  
настройки кода



**Рис. 15.17.** Диалог настройки  
кода программы

Для этого двойным щелчком левой клавиши мышки по изображению микроконтроллера откроем его свойства, где выберем закладку *Code* (рис. 15.16).

Кнопка **Properties** откроет диалоговое окно, в котором можно впоследствии менять ваши предпочтения. Пока лучше оставить все, как оно есть (рис. 15.17).

В этом диалоге указан основной файл, который должен быть в проекте, *main.c*.

**Новичок:** *Так, где же он?*

Для начала сохраним файл схемы под тем же именем, что и проект: *File*→*Save as*. В окне проекта (слева, *Design Toolbox*) откроем все названия до обнаружения искомого файла. Откроем его двойным щелчком левой клавиши мышки. Мы увидим шаблон, который следует заполнить таким текстом:

```
#include <pic.h>
#include <htc.h>
#define _XTAL_FREQ 10000000           // Определение тактовой частоты
__CONFIG(0xA);                       // Задание слова конфигурации
void main()
```

```
{  
TRISA = 0xFE;      // Определение вывода для  
работы на выход  
while(1) {         // Основной бесконечный цикл  
RA0 = 0; // Устанавливаем выход в низкое состояние  
__delay_ms(1);     // Пауза пока для моделирования  
RA0 = 1; // Устанавливаем выход в высокое состояние  
__delay_ms(1);     // Еще одна пауза  
}  
}
```

Первые две строки подключают заголовочные файлы, которые нужны для работы программы. Далее есть строка, задающая частоту тактового генератора. Тактовый генератор микроконтроллера может работать от внешних кварцев, схема подключения есть в datasheet, а может работать с RC-цепочкой (там же). То, как будет реализована работа задающего генератора, определяется словом конфигурации, которое записано ниже.



### ЭТО ВАЖНО.

\_XTAL\_FREQ имеет одно подчеркивание;  
\_CONFIG(0xA) имеет два подчеркивания, как и  
\_\_delay\_ms(1).

Здесь отметим, что мигать пробник должен раз в секунду. Пауза в миллисекундах должна выглядеть так: \_\_delay\_ms(1000).

**Новичок:** *Но так она не выглядит. Почему?*

Видимо, это связано с моделированием микроконтроллера, и я не исключаю, что решается все настройками, но я их не нашел. Поначалу я все написал правильно, используя паузу в 1000 мс. Ждал, ждал, пока изменится что-то у пробника, не дождался. Поэтому уменьшил паузы в тысячу раз.

Записав программу, нажмем на кнопку «проигрывания» или в основном меню *Simulate*→*Run*, чем приведем в действие компилятор. Появится сообщение о необходимости

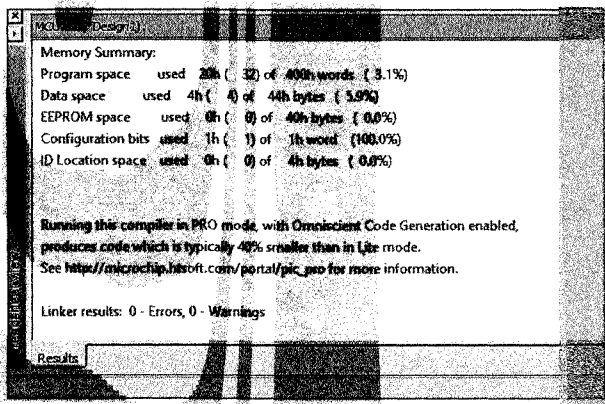


Рис. 15.18. Окно результата компиляции

сборки проекта, что мы подтвердим, нажав кнопку **Yes**. Если все прошло удачно, то в окне результатов не окажется ошибок (рис. 15.18).

Если ошибки в тексте были, то мы получим сообщение о том, в каких строках эти ошибки появились. Здесь могут быть разные варианты, поскольку договариваться с компилятором иной раз непросто. Тем не менее, сообщения об ошибках — хороший помощник. А на странице программы можно включить нумерацию строк: щелчок правой клавишей мышки, выбор *Line numbers*.

Возвращаясь к чертежу, используя закладку в нижней части рабочего поля, мы увидим мигающий с частотой раз в секунду пробник (рис. 15.19).

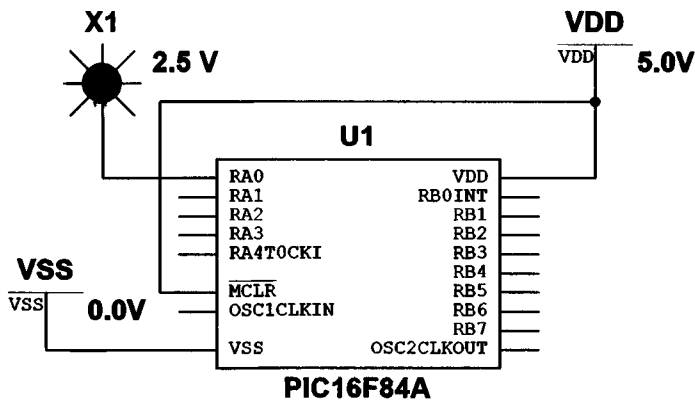


Рис. 15.19. Работающая схема

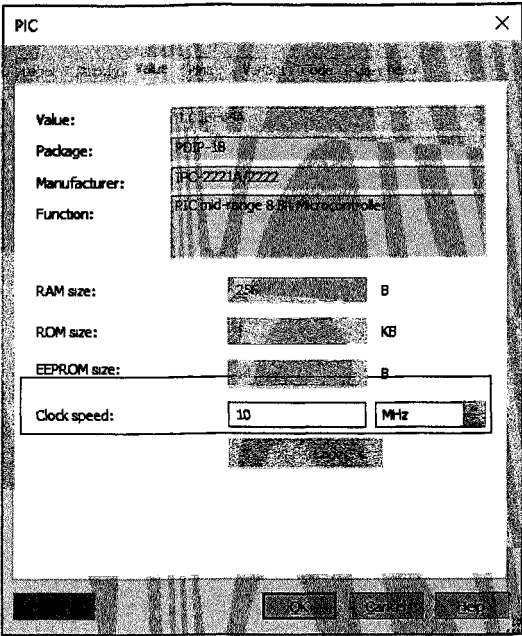


Рис. 15.20. Задание частоты моделирования

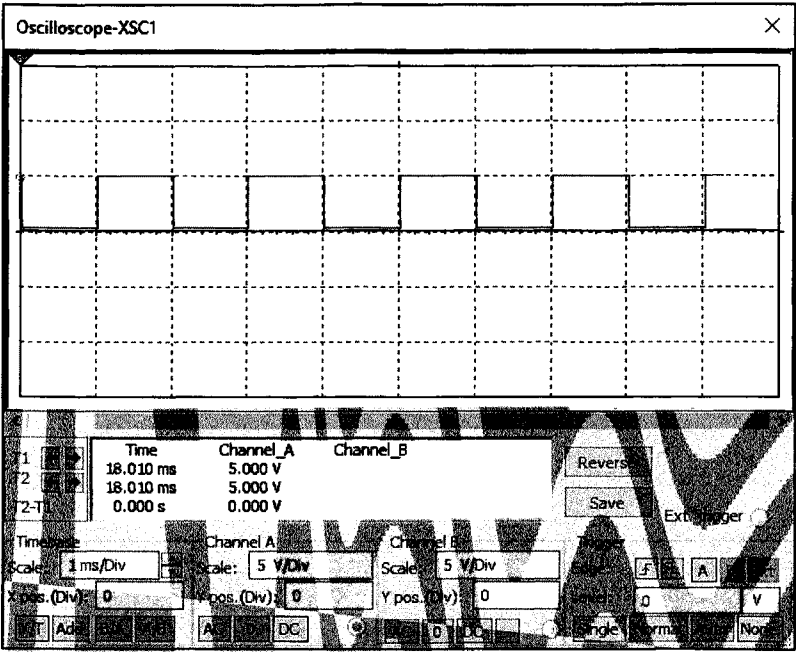


Рис. 15.21. Определение частоты изменения состояния вывода RA0

Правда, следует еще раз вернуться к свойствам микроконтроллера, где на закладке *Value* указать частоту 10 МГц (рис. 15.20).

**Новичок:** *Так с какой частотой мигает пробник?*

Проверить это можно, подключив к пробнику осциллограф (рис. 15.21).

Осциллограф показывает, что паузы, как мы и задавали, равны 1 мс.

Пока мы не занялись другими проектами, поговорим об отладке. Используем основное меню (рис. 15.22),

В открывшееся окно отладки можно добавить и предыдущий текст программы (рис. 15.23).

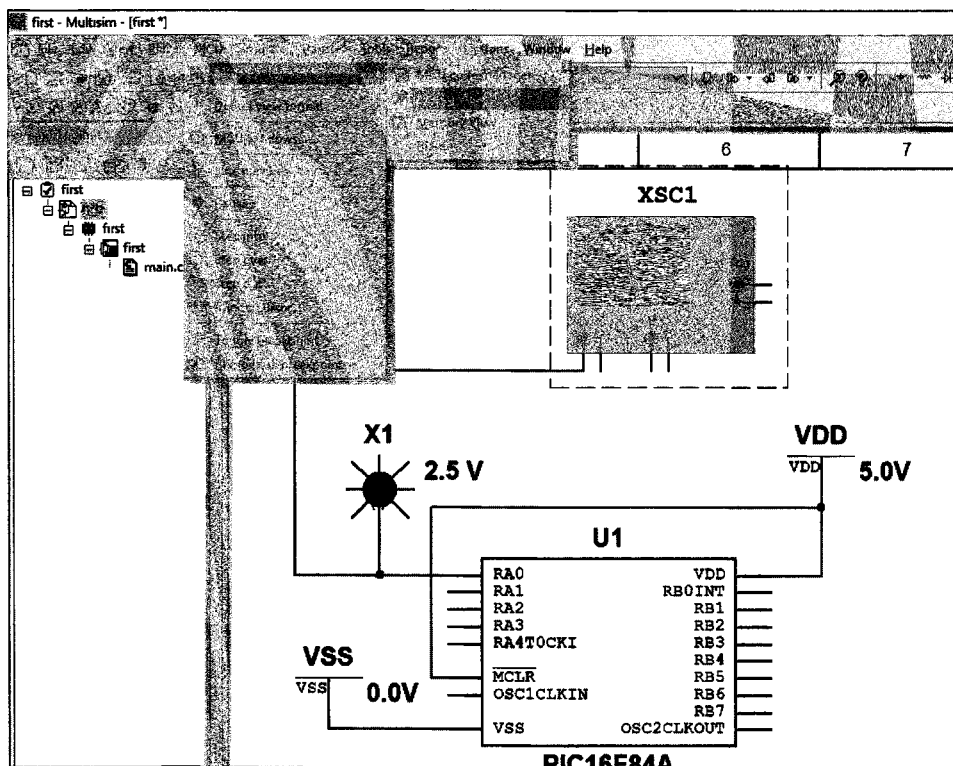


Рис. 15.22. Выбор отладочного окна в основном меню

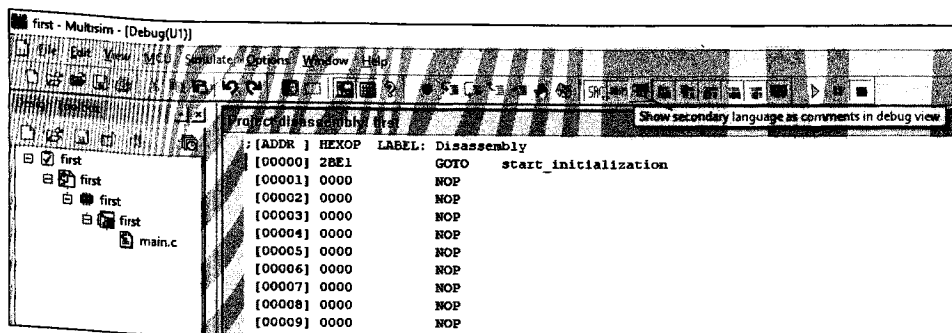


Рис. 15.23. Добавление исходного текста программы

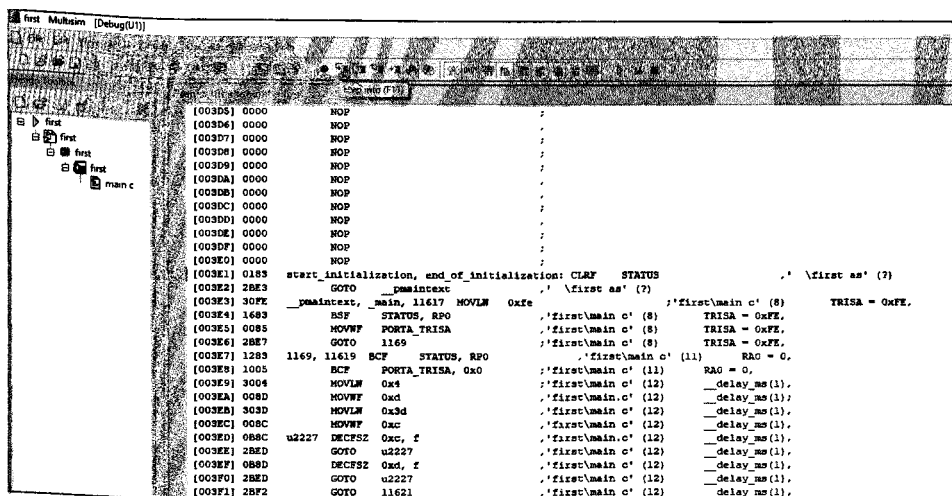


Рис. 15.24. Пошаговый режим отладки

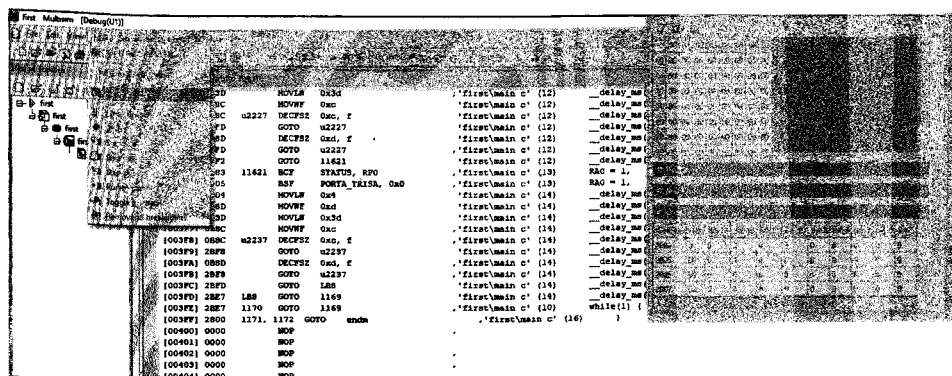
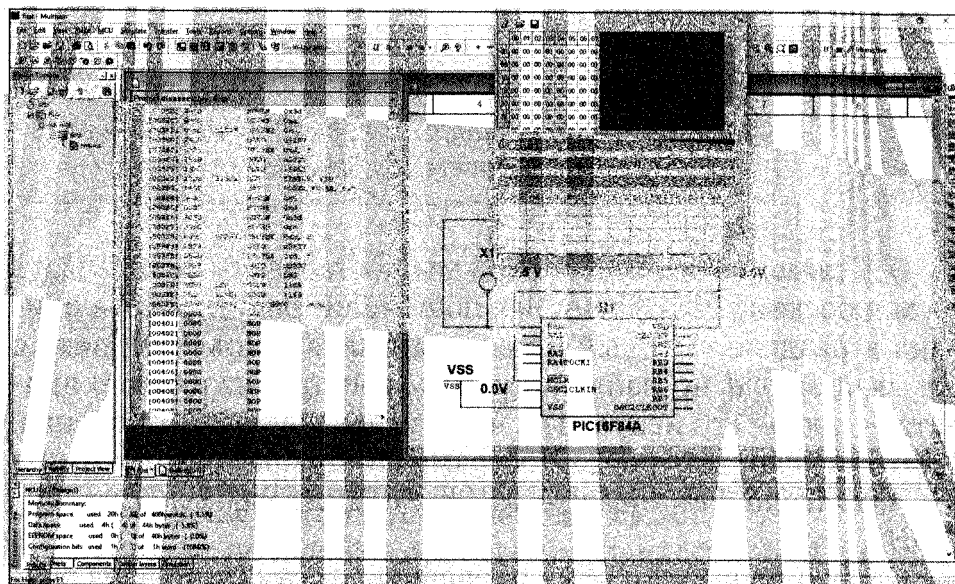


Рис. 15.25. Окно наблюдения за регистрами



**Рис. 15.26.** Выстраивание окон в вертикальном направлении

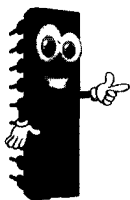
Можно проверить программу в пошаговом режиме (рис. 15.24).

Можно открыть окно наблюдения за регистрами микроконтроллера (рис. 15.25).

И можно, наконец, выстроить все окна, если это покажется удобным (*Windows*→*Tile vertically*), как показано на рис. 15.26.

## Второй проект – светофор

В главе 13 мы рассматривали схему светофора. Простая и оригинальная схема, использующая цифровые микросхемы. Но современный светофор работает сложнее, чем это было когда-то. Чтобы убедиться в этом, я дошел до ближайшего перекрестка и записал, как работает светофор.



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Зеленый горит, мигает несколько раз, затем желтый и красный; красный горит, к нему добавляется желтый, а затем зажигается зеленый.*

Эту схему работы светофора мы постараемся реализовать на микросхеме PIC16F84A. Вся подготовительная работа описана в разделе «Первый проект, мигалка». Новый проект я называю *second*, но файл программы копирую из первого проекта — проще его исправить, чем писать вручную все заново. Найти модель светофора в программе Multisim можно в группе *Advancend\_Peripherals*→*MISK\_PERIPHERALS*→*TRAFFIC\_LIGHT*.

Однако первая попытка проверить работу светофора оказывается неудачной. Для выяснения причины неудачи я подключаю виртуальный осциллограф (рис. 15.27).

Осциллограмма показывает, что нагрузка для микроконтроллера слишком велика. Что не соответствует моим представлениям о микроконтроллере, да и в справочных данных указана допустимая нагрузка на выход 25 мА. Или я неправильно прочитал datasheet, или что-то не так в модели, поскольку подключение светофора к источнику напряжения 5 В дает ток, потребляемый светофором, 11 мА.

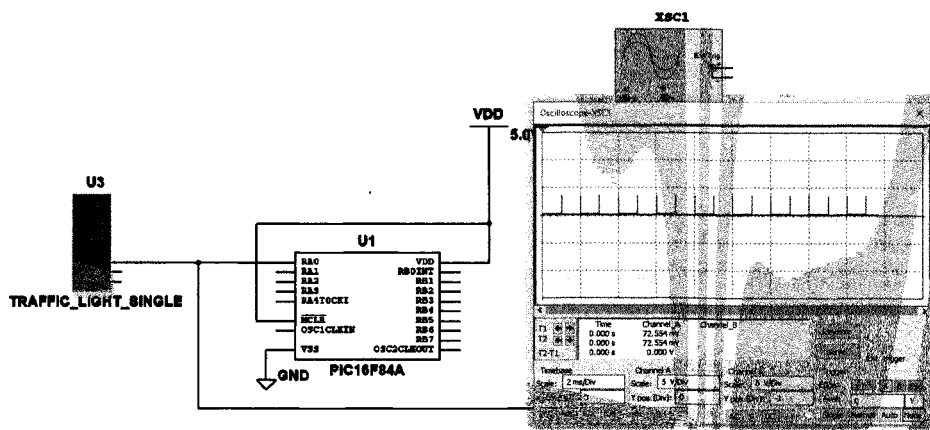
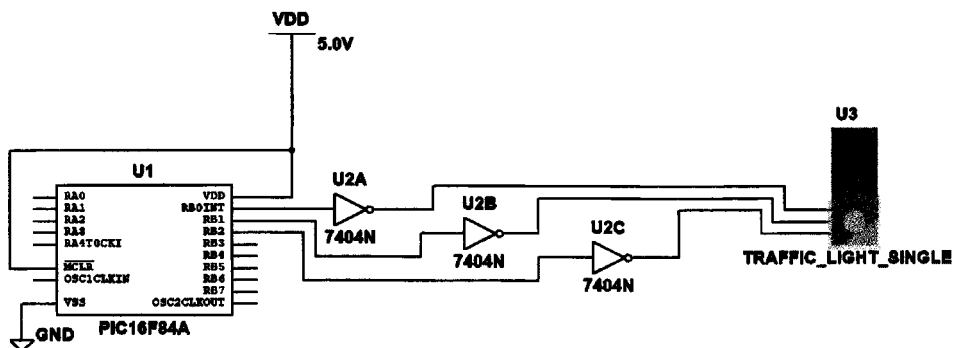


Рис. 15.27. Неудачная попытка моделировать работу светофора





**Рис. 15.28.** Решение проблемы перегрузки порта

Но разбираться с этим несоответствием сейчас не очень хочется. Проще поступить иначе (рис. 15.28).

Остается исправить программу, привести ее в соответствие с выбранным решением. Не следует только забывать про инверторы 7404! Программа получилась такой:

```
#include <pic.h>
#include <htc.h>
#define _XTAL_FREQ 10000000 // Тактовая частота
__CONFIG(0xA); // Слово конфигурации
int i; // Вспомогательная переменная
void main()
{
    TRISB = 0x0; // Настройка выводов
    while(1) {
        RB2 = 0;
        __delay_ms(3);
        for(i=0;i<3;i++) { // Цикл «мигания»
            RB2 = 1;
            __delay_ms(1);
            RB2 = 0;
            __delay_ms(1);
        }
        RB2 = 1; // Переключение светофора
        RB1 = 0;
        __delay_ms(2);
        RB1 = 1; // Переключение
        RB0 = 0;
        __delay_ms(3);
```

```

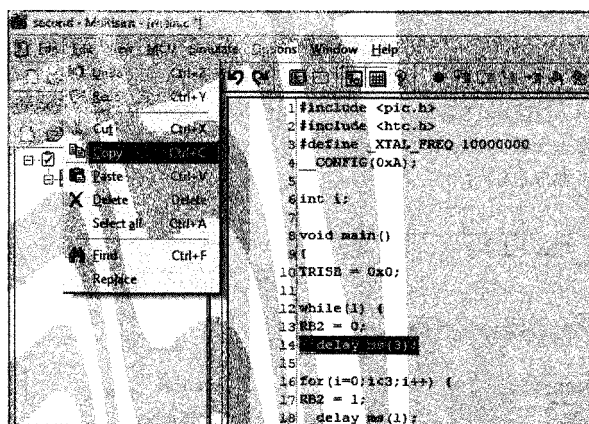
RB1 = 0;
__delay_ms(2);
RB0 = 1;
RB1 = 1;
}
}

```

Записывая программу, следует иметь в виду, что выпадающее меню, если использовать правую клавишу мышки, не дает меню редактирования, а вызывает меню отладки. То есть, копирование фрагментов текста программы (что удобно) для последующей вставки требует обращения к основному меню Multisim (рис. 15.29).

Программа работает так, как она задумана (рис. 15.30).

Если вы надумаете делать модель светофора на макетной плате, не забудьте проверить, будет ли схема работать без инверторов 7404 с резисторами и светодиодами! Если будет, то инверторы — лишние сущности. Не забудьте «инвертировать» в программе все состояния выводов! И не забудьте изменить времена, проверив это, значениями в тысячу раз большими. Количество миганий зеленого огня светофора, времена горения всех огней — все это легко меняется в программе. Надеюсь, вы согласитесь, что делать такую модель светофора на микроконтроллере гораздо удобнее, чем на цифровых микросхемах.



**Рис. 15.29.** Использование основного меню для редактирования текста программы

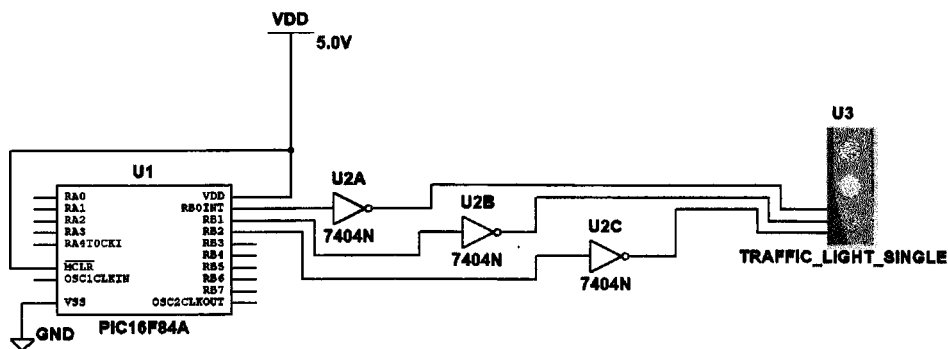


Рис. 15.30. Окончательная проверка программы

И еще. В группе *Advanced\_Peripherals* есть еще один светофор. Вспоминая, что это перекресток, постарайтесь собрать схему для него (рис. 15.31).

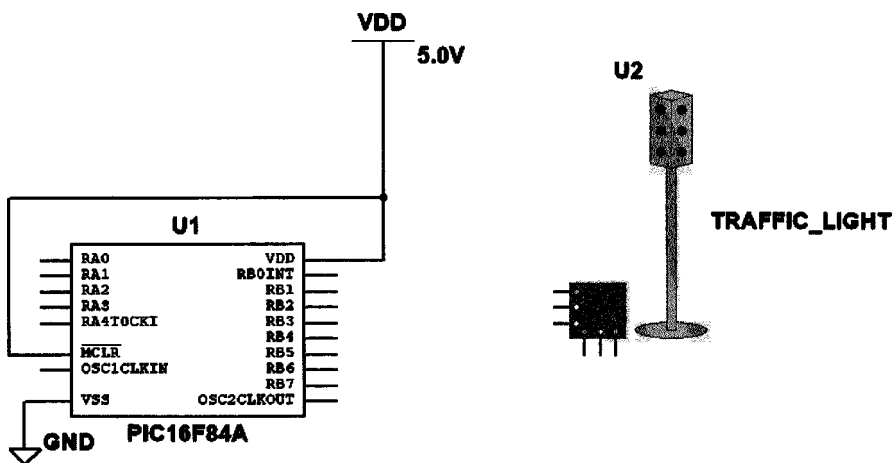


Рис. 15.31. Другой светофор в программе Multisim

## Проект третий – генератор

В главе 12, рассказывая про АЦП, я использовал счетчик для создания ступенчатого напряжения. Но нет причин не

использовать микроконтроллер для создания генератора аналогичного сигнала (рис. 15.32).

Сигнал, который можно увидеть на осциллограмме, не совсем такой, какой я ожидал бы. Должны получиться импульсы треугольной формы. Но получилось нечто похожее, но (рис. 15.33)...

Программа, работающая в этом случае, выглядит так:

```
#include <pic.h>
#include <htc.h>
#define _XTAL_FREQ 10000000
__CONFIG(0xA);
int i;           // Вспомогательная переменная
void main()
{
    TRISB = 0x0;
    while(1) {
        PORTB = 0;
        for(i=0;i<=0xF;i++) { // Увеличение числа
            PORTB = i;         // Вывод числа в порт
            __delay_ms(1);
        }
        for(i=0xE;i>=0;i--) { // Уменьшение числа
            PORTB = i;         // Вывод числа в порт
            __delay_ms(1);
        }
    }
}
```

Если использовать только один цикл *for*, то должны получиться импульсы пилообразной формы. Это, конечно, ступенчатое приближение к импульсам нужной формы, но при большом количестве ступенек результат мало отличается от сигналов, получаемых при генерации аналоговыми устройствами.

В данном случае использованы четыре бита порта, можно добавить остальные четыре, что еще больше приблизит форму сигнала к нужному виду. И отчего сигнал так не похож на импульсы треугольной формы, сказать трудно. Вот работа

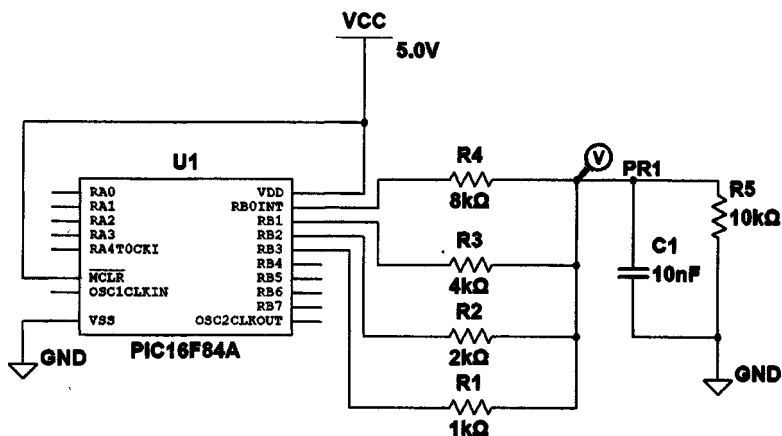


Рис. 15.32. Формирование сигнала с помощью микроконтроллера

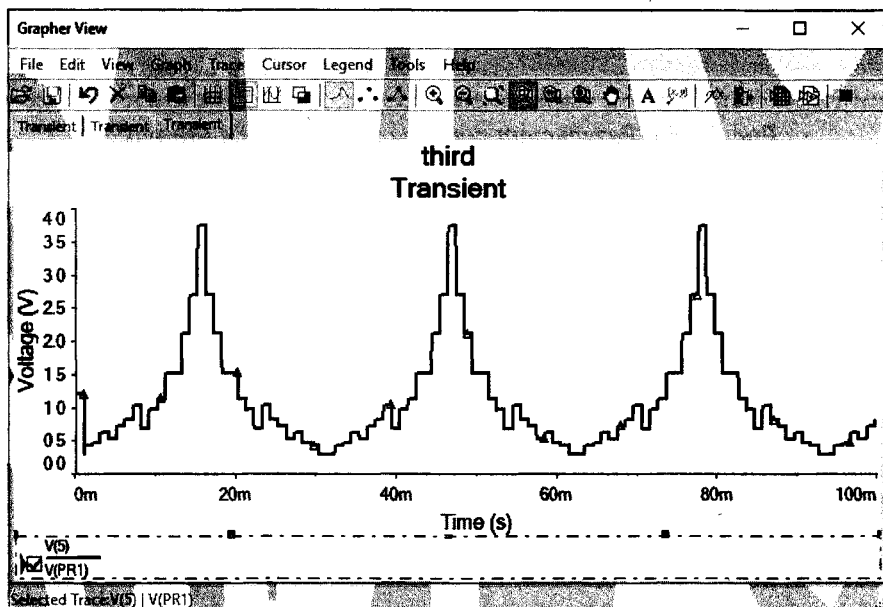
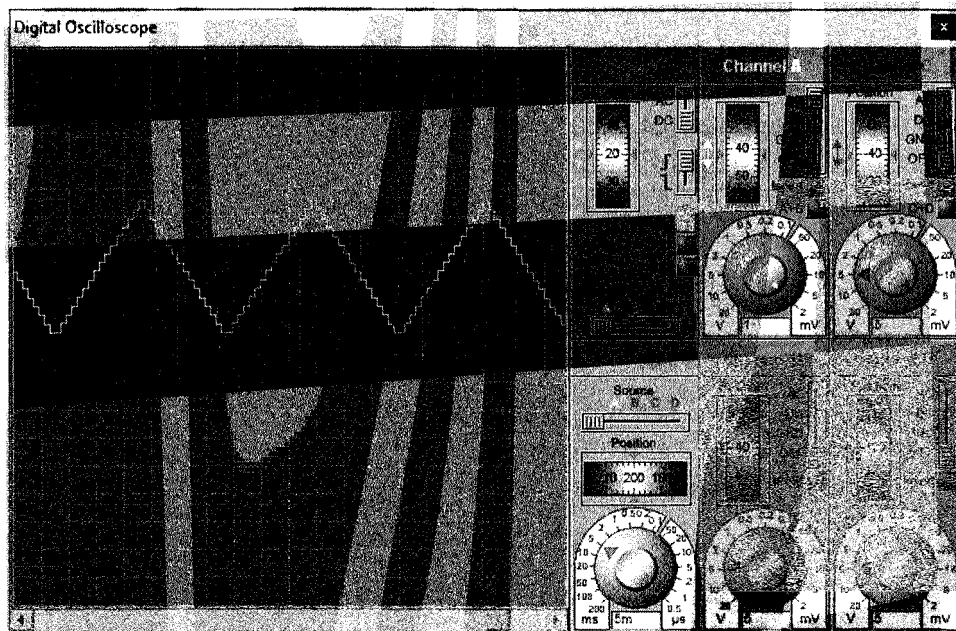


Рис. 15.33. Сигнал, формируемый схемой рис. 15.32

той же программы формирования импульсов с тем же микроконтроллером, но смоделированная в программе Proteus (рис. 15.34).

Окончательное решение о правильности моделирования даст, полагаю, повторение на макетной плате. У меня нет



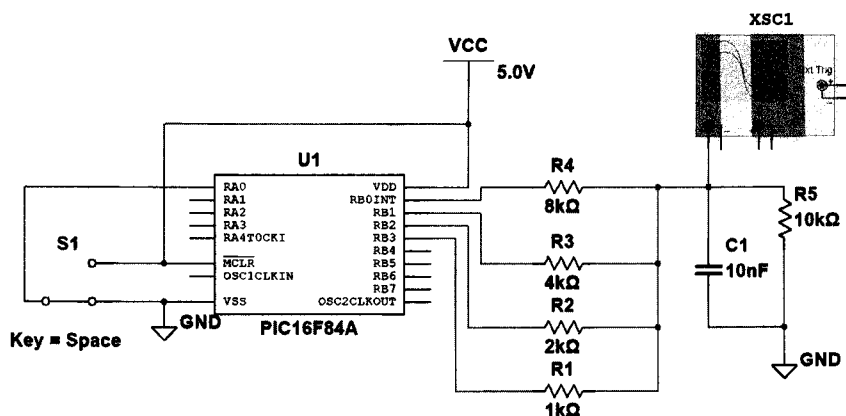
*Рис. 15.34. Результат работы программы в Proteus*

микроконтроллера PIC16F84A, если у вас есть эта модель, то можете проверить.

Не забывайте еще, что выводы можно использовать не только для работы на выход. Можно их использовать и на вход. Все определяется в регистре TRIS, если в него записываются единицы для каких-то битов, эти выводы будут работать на вход, если нули, на выход. Добавив кнопку, по ее нажатию можно, используя условие *if*, переходить от одного вида сигнала к другому (рис. 15.35).

Программа для этой схемы:

```
#include <pic.h>
#include <htc.h>
#define XTAL_FREQ 10000000
__CONFIG(0xA);
int i; // Вспомогательная переменная
int inp; // Переменная для ввода состояния кнопки
void main()
{
    TRISB = 0x0; // Настройки портов
    TRISA = 0xF;
```



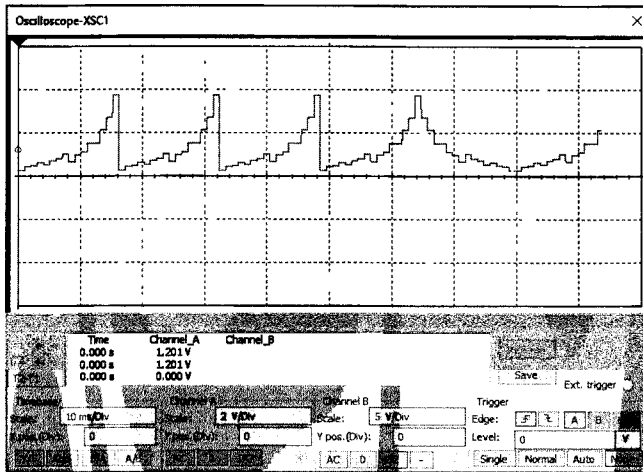
**Рис. 15.35.** Схема с переключением сигналов

```

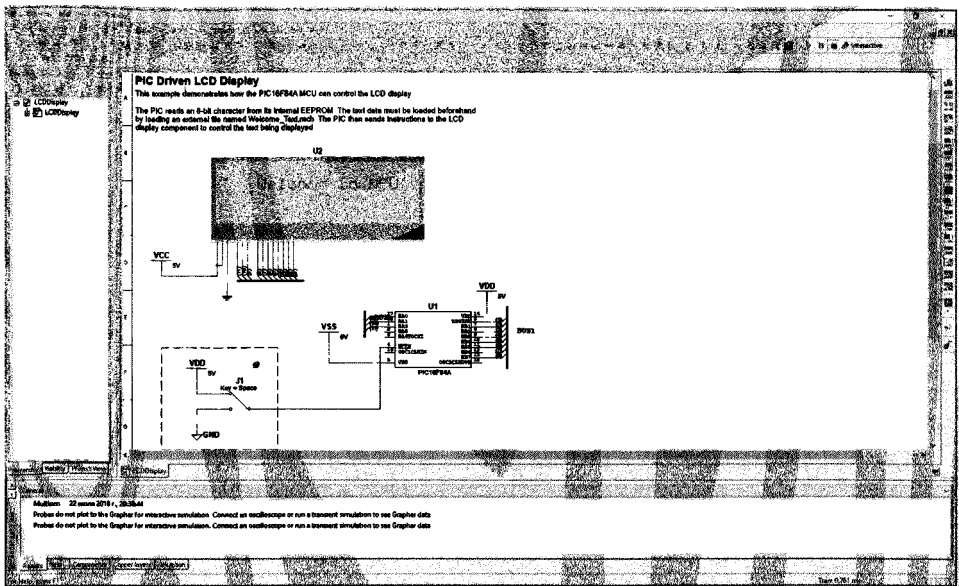
while(1) {
    PORTB = 0;
    inp = RA0;          // Определяем состояние кнопки
    if (inp == 0) {
        for(i=0;i<=0xF;i++) { // Формируем сигнал
            PORTB = i;
            __delay_ms(1);
        }
        for(i=0xE;i>=0;i--) {
            PORTB = i;
            __delay_ms(1);
        }
    }
    if(inp == 1) { // Если состояние кнопки
        изменилось
        for(i=0;i<=0xF;i++) { // Формируем другой сигнал
            PORTB = i;
            __delay_ms(1);
        }
    }
}

```

И результат работы программы (рис. 15.36).



**Рис. 15.36.** Осциллограмма переключения сигналов

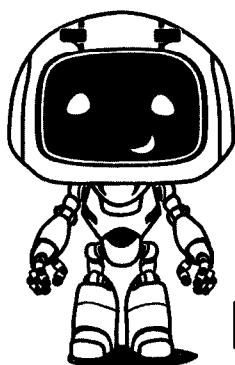


**Рис. 15.37.** Один из примеров в составе Multisim

**Новичок:** Полагаю, микроконтроллер PIC16F84A не самый мощный, однако, и он позволяет создавать не только простые устройства.

Конечно, посмотрите на пример, предлагаемый разработчиками программы Multisim (рис. 15.37).





# О ДРУГИХ КОМПОНЕНТАХ и ИЕРАРХИЧЕСКИХ СХЕМАХ

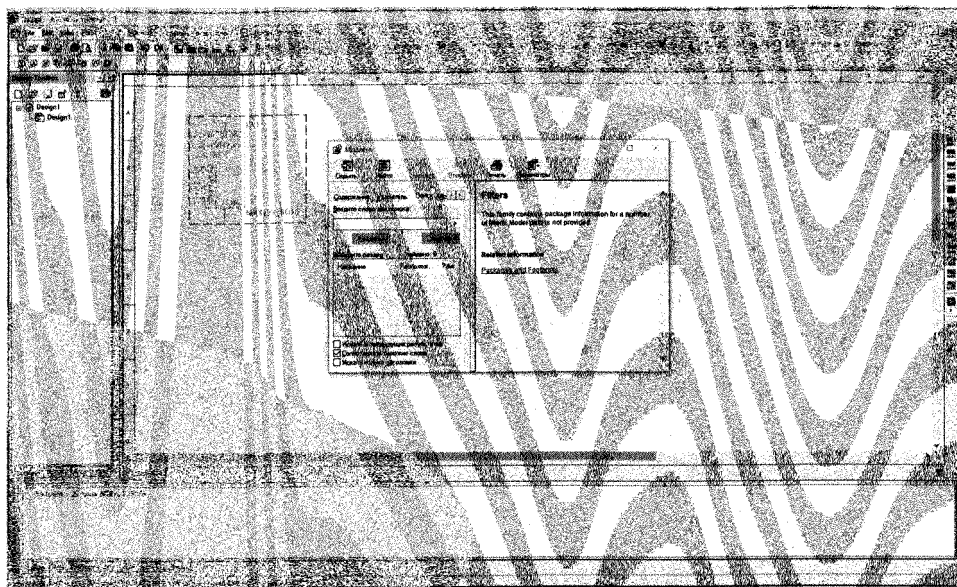
Компонентов в программе Multisim много. Часть из них предназначена для моделирования, часть — нет. Различает их цвет при переносе в рабочее поле чертежа, зеленые компоненты, похоже, не участвуют в анализе работы схем.

Узнать что-то о каждом из компонентов помогает **раздел помощи**. Перенесем компонент в рабочее поле (**рис. 16.1**), выделим его, нажмем функциональную клавишу **F1** на клавиатуре. Появится подсказка.

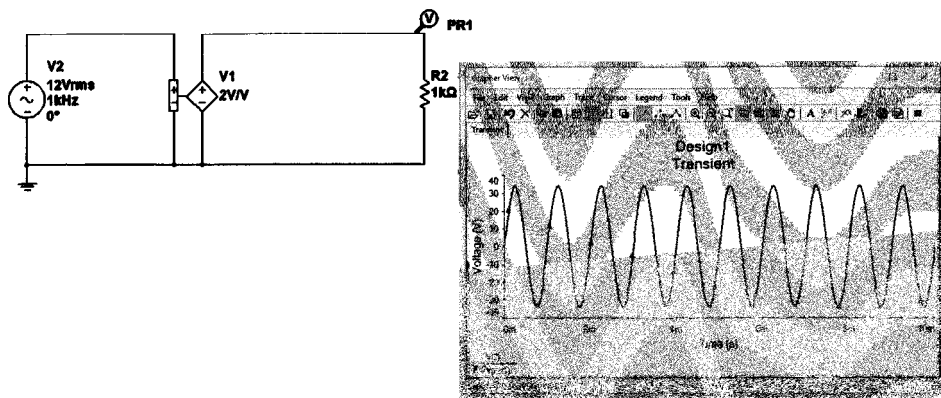
Но есть один класс компонентов, о которых следует упомянуть. Он пригодится опытным пользователям. Это так. Но знать о нем полезно всем. Любая модель компонента должна выполнить те функции, которые выполняет реальная микросхема. Одни из микросхем устроены достаточно просто. Их модель можно представить несколькими транзисторами и резисторами. Другие модели содержат большое количество транзисторов, резисторов, конденсаторов.

Программы моделирования должны рассчитать состояние всех этих элементов схемы в динамике. Что может отнимать слишком много времени. Для упрощения расчетов предназначены компоненты, один из которых представлен на **рис. 16.2**.

Такой элемент, в сущности, идеальный усилитель, описываемый простым уравнением, ускоряющим работу программы



**Рис. 16.1.** Подсказка по выделенному компоненту в программе Multisim



**Рис. 16.2.** Моделирование источника напряжения, контролируемого напряжением

моделирования. Более сложные модели можно создавать с помощью подобных компонентов.

Но мы начнем с создания простой модели. У меня нашлась Spice-модель транзистора KT315. Это текстовый документ, который выглядит 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)
```

Начнем создавать модель с обращения к основному меню (рис. 16.3).

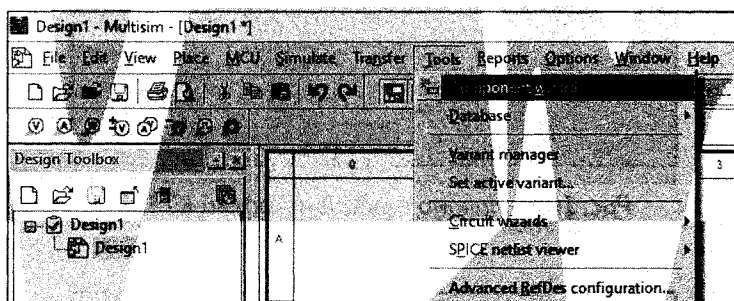
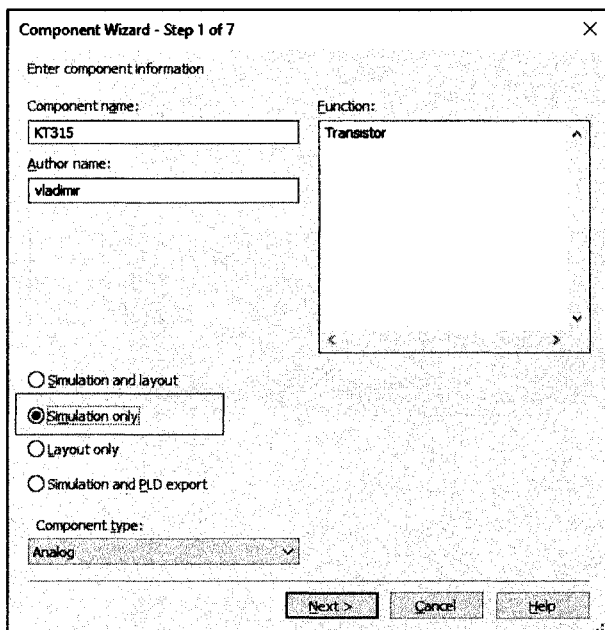


Рис. 16.3. Помощник создания моделей пользователя

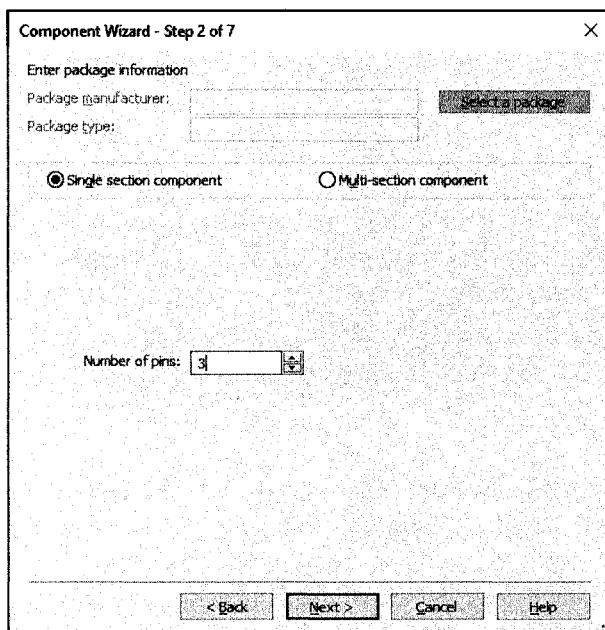
На первой странице диалога следует ввести начальные данные о модели. Я использую латиницу, поскольку не знаю, как программа относится к кириллице. Позже, при попытке использовать модель могут возникнуть трудности. И в качестве применения модели я указываю, что модель предназначена только для моделирования. Я не уверен, что смогу нарисовать все необходимое для посадочного места транзистора (рис. 16.4). Оставляем тип компонента аналоговым, каковым он и является.

Кнопка **Next** (эта волшебная кнопка!) приводит нас на вторую страницу диалога помощника по созданию модели. Здесь правке подлежит только количество выводов. По умолчанию обозначено два вывода, но нам нужно три (рис. 16.5).

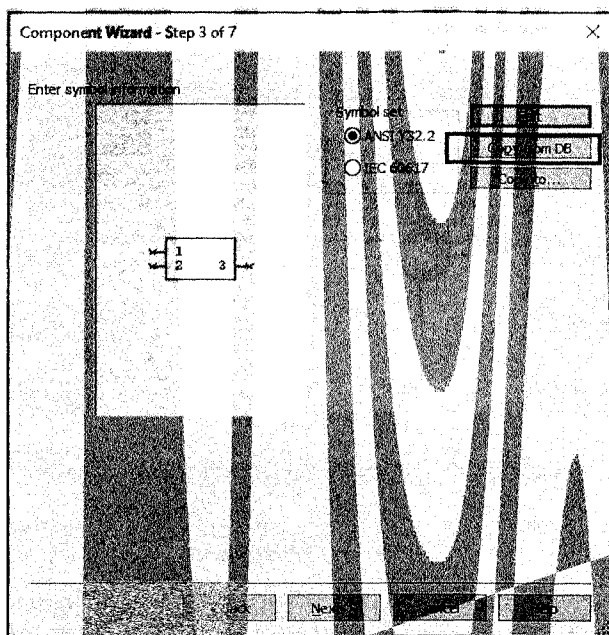
С помощью волшебной кнопки переходим дальше. На этой странице можно выбрать стандарт графического изображения



**Рис. 16.4.** Начало создания модели KT315



**Рис. 16.5.** Вторая страница диалога



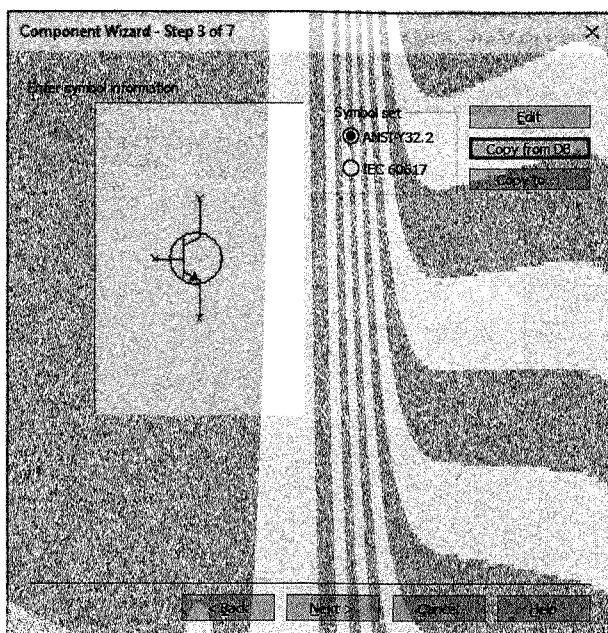
**Рис. 16.6.** Страница выбора стандарта

символа. Но само изображение никак не похоже на то, к которому мы привыкли, не так ли (рис. 16.6)?

На рис.16.6 отмечена еще одна волшебная кнопка. То есть, можно обратиться к графическому редактору, чтобы нарисовать, если вы умеете это делать, привычный символ транзистора. Но я не очень хорошо рисую, увы. Предпочитаю скопировать из базы данных. Нажав на эту кнопку, мы попадем в привычное окно выбора компонентов, где есть группа *BJT\_NPN*. Первый транзистор из группы вполне устраивает в качестве заданного символа. Осталось нажать на кнопку **ОК**, чтобы вернуться к диалогу создания модели (рис. 16.7). Но как изменилось все вокруг!

**Новичок:** *И теперь наступает самый ответственный момент...*

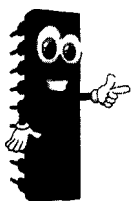
Возможно! Нажав кнопку **Next** в этом окне диалога, нажав ее в следующем окне, где я не знаю, что следует делать, я попа-



**Рис. 16.7.** Изменение вида символа для транзистора KT315

даю на страницу описания модели (**рис. 16.8**). В окне для ввода текста можно сделать запись, если вы умеете описывать Spice-модели.

Но можно текст готовой модели скопировать, чтобы вставить в это место. Это тот текст, что приведен выше.

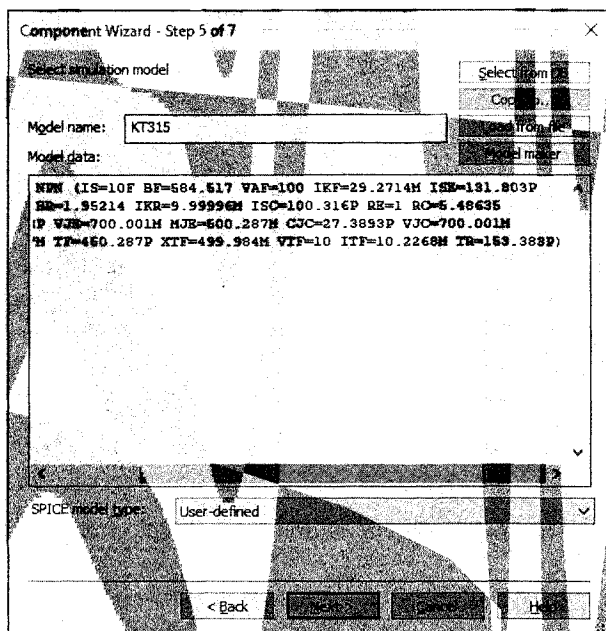


### ПРИМЕЧАНИЕ.

Обратите внимание, что все данные записываются в одну строку. Поскольку они могут не помещаться, то на следующей строке есть метка продолжения. Если текст будет оформлен неправильно, результат тоже будет неправильным.

Следующая страница показывает:

- ♦ как выглядит модель;
- ♦ каково назначение выводов.



**Рис. 16.8.** Добавление собственно Spice-модели транзистора

Если вы согласны с этим, нажмите кнопку **Next**. Вам останется выбрать несколько уточнений в пользовательской базе данных. Открывайте группу транзисторы и раздел, который был определен ранее (рис. 16.9). Нужные поля заполнятся сами.

Остается нажать кнопку **Finish**, закроется диалог и транзистор KT315 можно вставить в поле чертежа.

**Новичок:** И транзистор будет вести себя подобно «родным» из программы Multisim?

Проверим это. Добавим все необходимые компоненты для однокаскадного транзисторного усилителя с общим эмиттером, добавим источник переменного напряжения и получим сигнал на выходе (рис. 16.10).

Еще один способ создания собственной модели, он же иногда удобный способ работы со сложной схемой — это использование подсхемы.

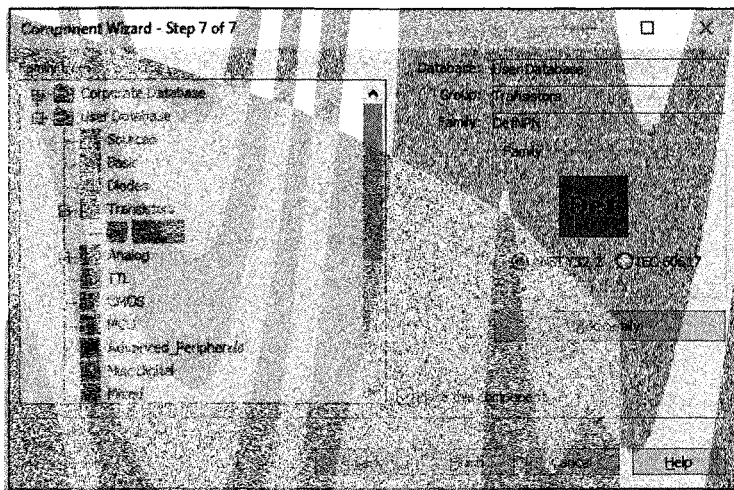


Рис. 16.9. Завершающая страница диалога

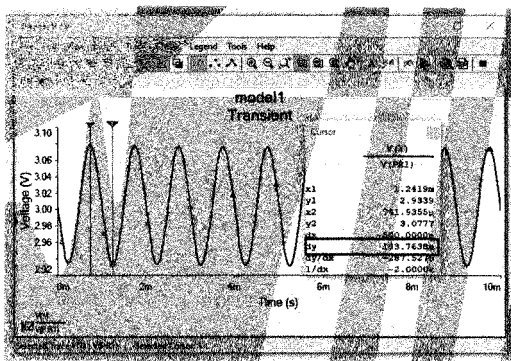
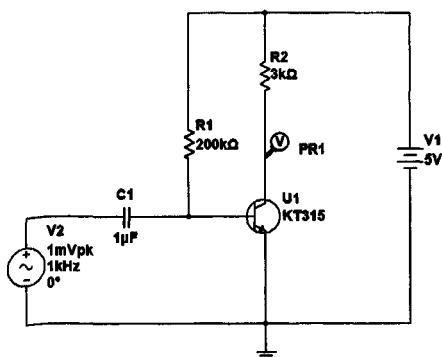


Рис. 16.10. Проверка работоспособности новой модели транзистора

Начнем этот пример с добавления источника напряжения, управляемого напряжением, как на рис. 16.2:

группа *Sources* → *CONTROLLED\_VOLTAGE\_SOURCES* → *VOLTAGE\_CONTROLLED\_VOLTAGE\_SOURCE* (рис. 16.11).

К выводам этого компонента добавим порты подсхемы. Для этого щелкнем правой клавишей мышки на свободном месте схемы. Из выпадающего меню выберем нужное нам соединение (рис. 16.12).

Этот элемент добавим к чертежу. Повторим это еще трижды, чтобы получить четыре точки соединения подсхемы. Два эле-



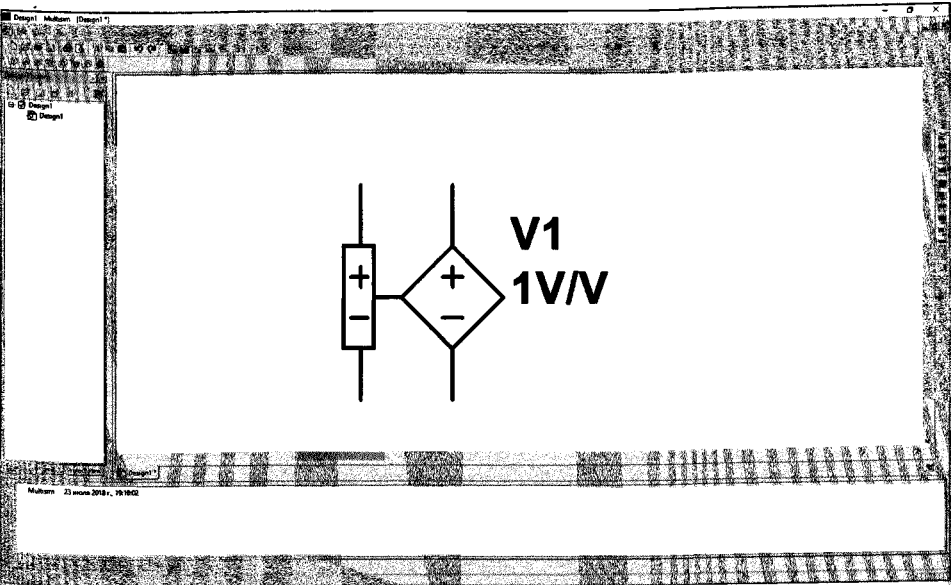


Рис. 6.11. Начало создания подсхемы

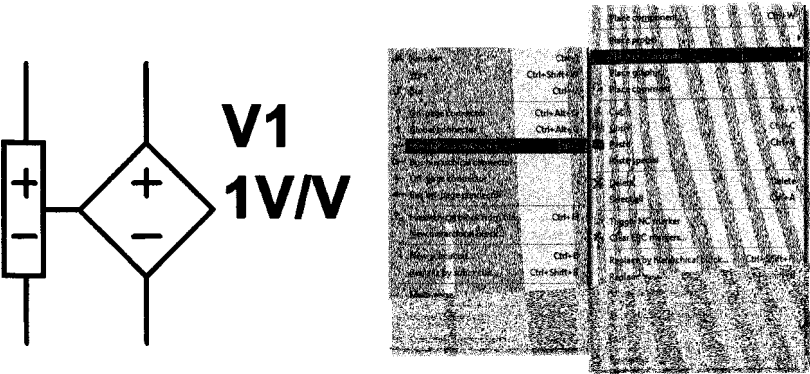


Рис. 16.12. Выбор контакта подсхемы

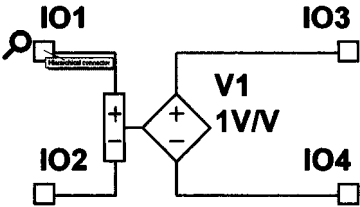


Рис. 16.13. Подготовка к созданию подсхемы

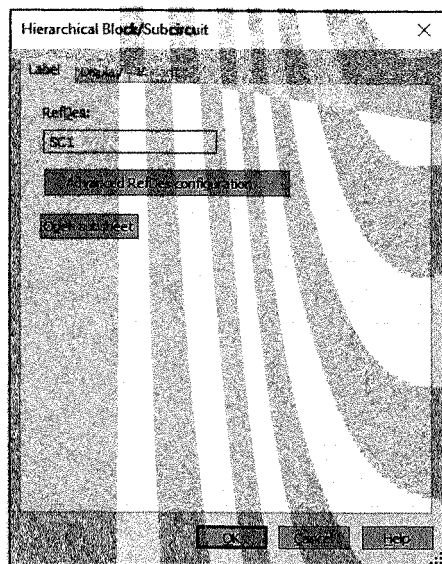


Рис. 16.14. Диалог свойств подсхемы

мента развернем, используя отражение по горизонтали. И все это соединим (рис. 16.13).

Выберем в основном меню создание новой подсхемы (*Place*→*New subcircuit*). Вырежем то, что нарисовали ранее. Оставим новый компонент, которому мы дали имя в диалоге создания подсхемы. Откроем его свойства (рис. 16.14).

Используем кнопку **Open subsheet**. Этим открывается лист, на который мы вставим ранее вырезанную подготовленную схему. Теперь наш проект имеет два листа, на первом условное обозначение подсхемы (рис. 16.15). На втором листе схема «подсхемы».

Осталось добавить источник напряжения и сравнить работу этого устройства с тем, что на рис. 16.2. Напомню, что и тогда, и теперь усиление выбрано равное 2 (рис. 16.16).

**Новичок:** *А какие удобства в работе, вы говорили, создают подсхемы?*

Приведу пример. Нужна схема, содержащая фильтр. Мы рассчитали, нарисовали фильтр, проверили его работу и

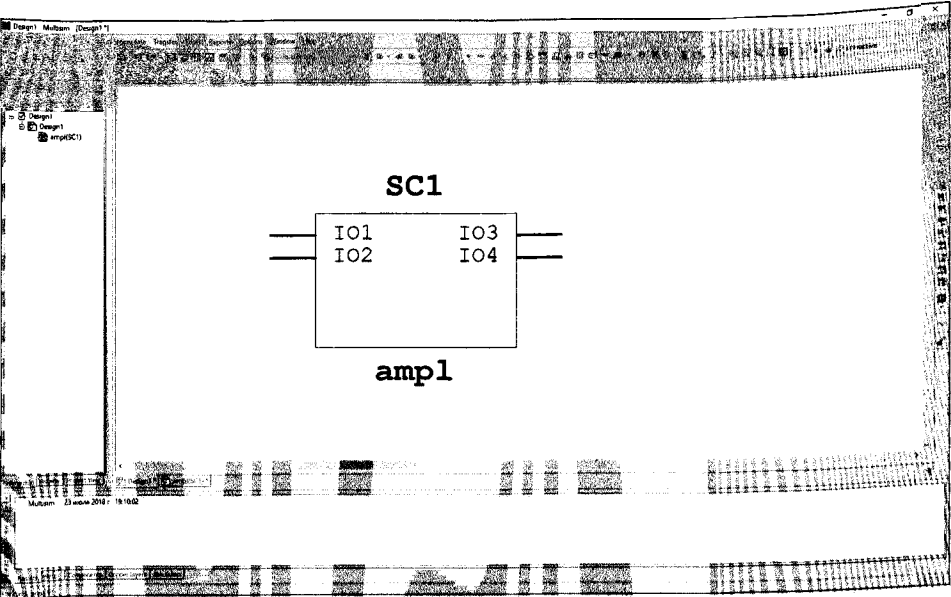


Рис. 16.15. Чертеж с подсхемой

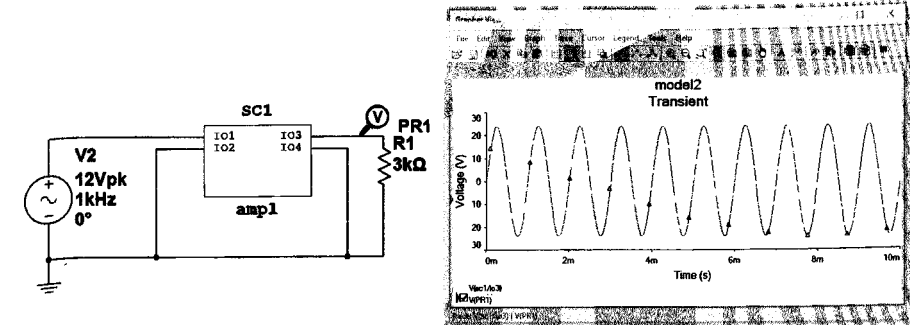


Рис. 16.16. Проверка результата с использованием подсхемы

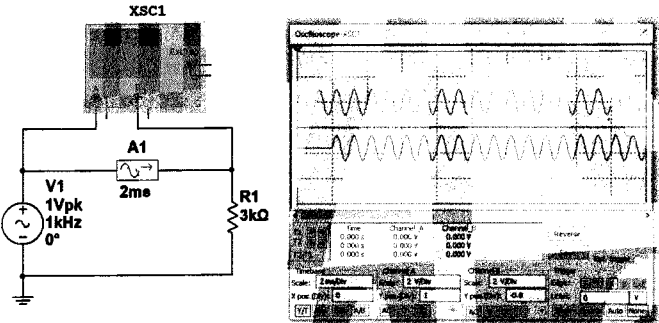
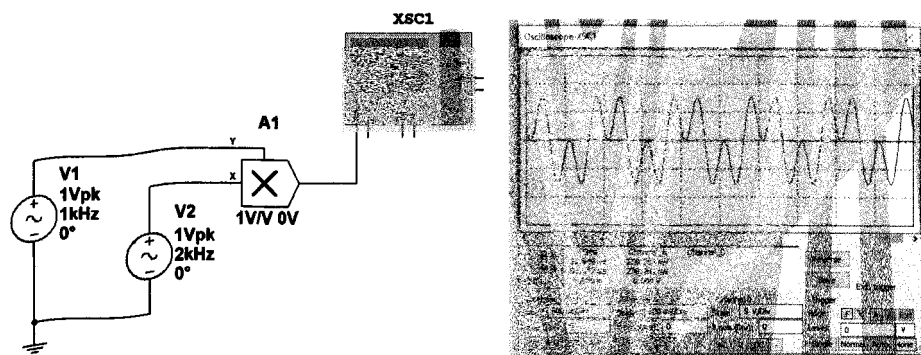
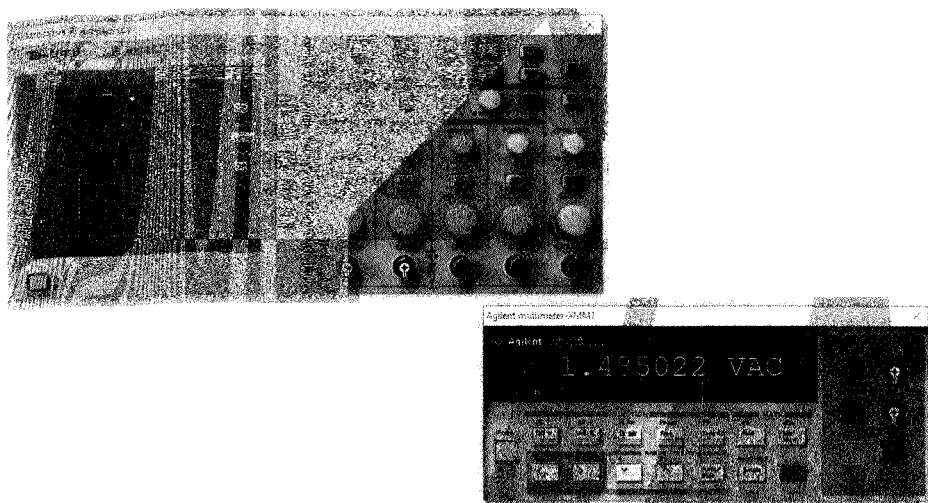


Рис. 16.17. Использование компонента задержки сигнала



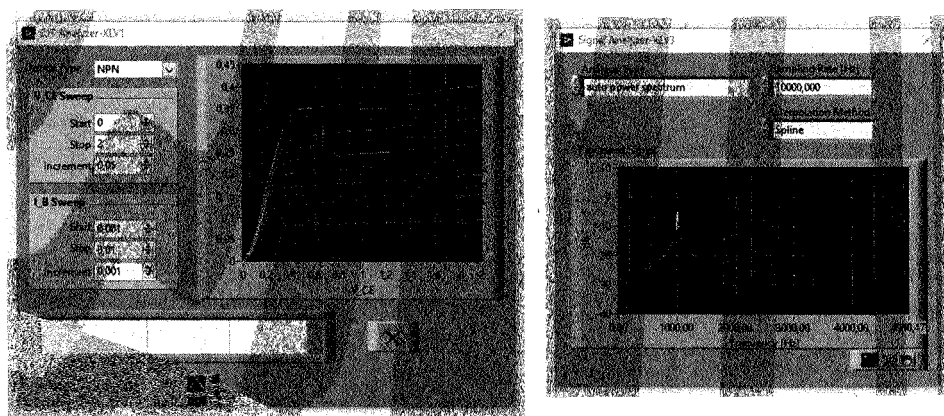
**Рис. 16.18.** Компонент умножения двух сигналов



**Рис. 16.19.** Приборы для работы с электрическими схемами

настроили его. Дорисовали всю схему. Но, проверив работу схемы, решили, что фильтр следует переделать. Согласитесь, что фильтр, выполненный подсхемой, позволит внести исправления и проверить результат с большими удобствами. Полная схема при этом не требует переделок.

Аналогично приведенному примеру можно использовать иерархическое построение схемы, когда подсхема сама содержит подсхемы.



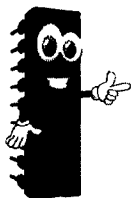
**Рис. 16.20.** Приборы LabVIEW

Для построения своих моделей вы найдете еще много компонентов. Например, есть компонент задержки сигнала (рис. 16.17).

Или, скажем, выполнить функцию умножения двух сигналов с помощью транзисторов-резисторов, если вы не создаете схему умножителя, достаточно не просто. Для этой цели можно использовать такой компонент, как умножитель (рис. 16.18).

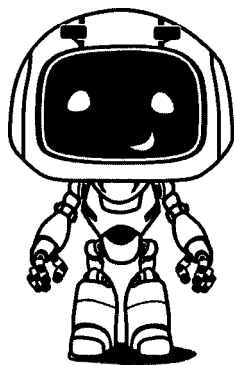
Нельзя не упомянуть, что ряд версий Multisim помогают начинающим освоить работу с реальными приборами. Не самые, возможно, современные, но профессиональные приборы (рис. 16.19). Все они находятся на инструментальной панели приборов (справа).

И еще есть весьма полезные инструменты LabVIEW (рис. 16.20).



#### **ПРИМЕЧАНИЕ.**

*А теперь вспомним, что программа Multisim входит в пакет, где есть программа разводки печатных плат.*



# ULTIBOARD, ПРОГРАММА РАЗВОДКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Вернемся еще раз к разводке печатных плат. Разводка печатных плат — это работа, требующая знаний, умения и опыта. Но программа Ultiboard, входящая в состав NI Circuit Design Suite, будет полезна и для начинающих.

**Новичок:** *В первой главе уже говорили про разводку, есть что-то еще?*

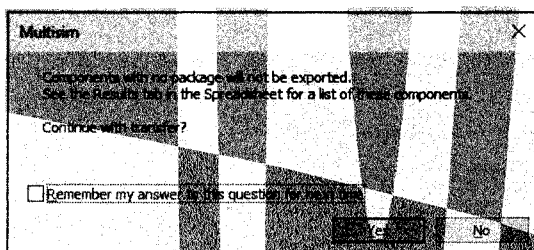
Следует немного добавить к рассказу. Все программы разводки печатных плат ориентированы на то, что работа начинается с ввода схемы. Но программы сквозного проектирования позволяют эту часть работы осуществить в программе моделирования.

После завершения сборки схемы, ее проверки и отладки из схемы нужно удалить компоненты, которые не будут запаяны в плату, заменив их контактными площадками или разъемами. Рассмотрим все этапы создания печатной платы на примере схемы **рис. 13.4**. Повторим эту схему, удалив компоненты, которых не будет на плате (**рис. 17.1**).

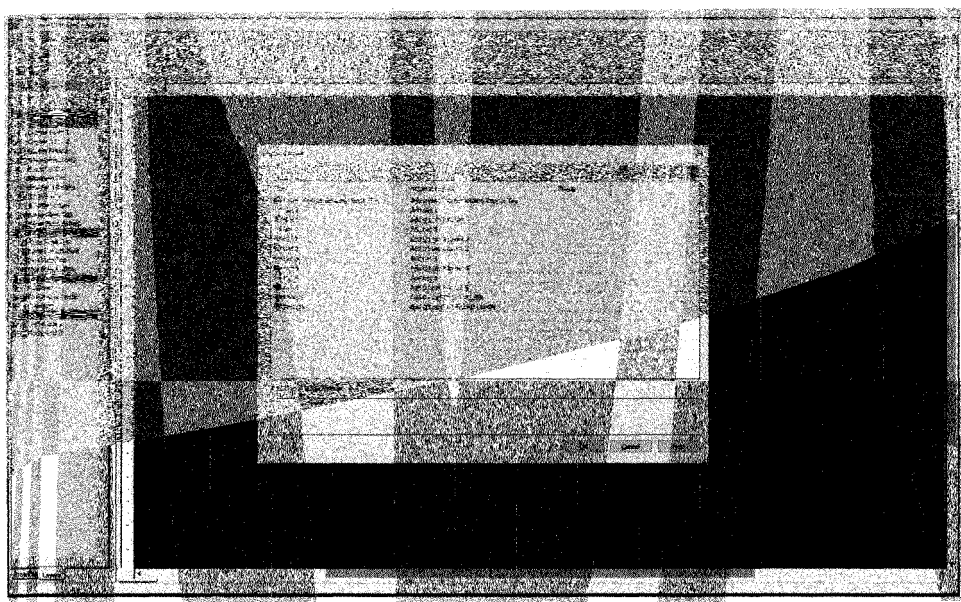
Следующий шаг — это преобразование схемы в формат, понятный программе Ultiboard (**рис. 17.2**). Потребуется указать папку, где будет храниться все необходимое для дальнейшей работы.

Если в нарисованной схеме есть компоненты, не имеющие упаковки (нет посадочных мест), то они не будут использованы





**Рис. 17.3.** Предупреждение перед переходом к программе Ultiboard



**Рис. 17.4.** Начало разводки платы

В рабочем поле программы Ultiboard есть плата и все компоненты с их связями, они отмечены на **рис. 17.5**.

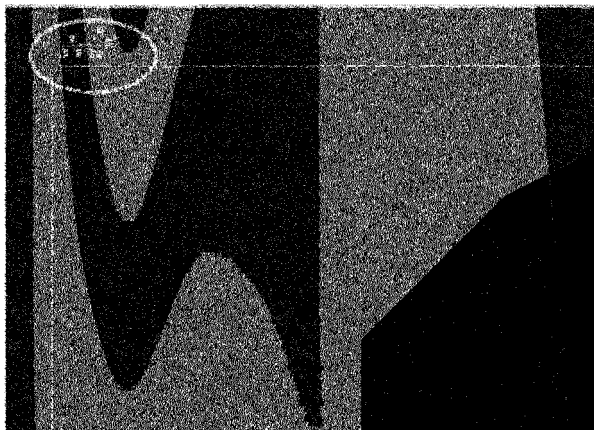


### СОВЕТ.

*Начинающим я рекомендую воспользоваться автоматическим размещением компонентов (рис. 17.6).*

Опытные специалисты, вероятно, предпочитают все операции проводить вручную, но для этого нужно набраться опыта.



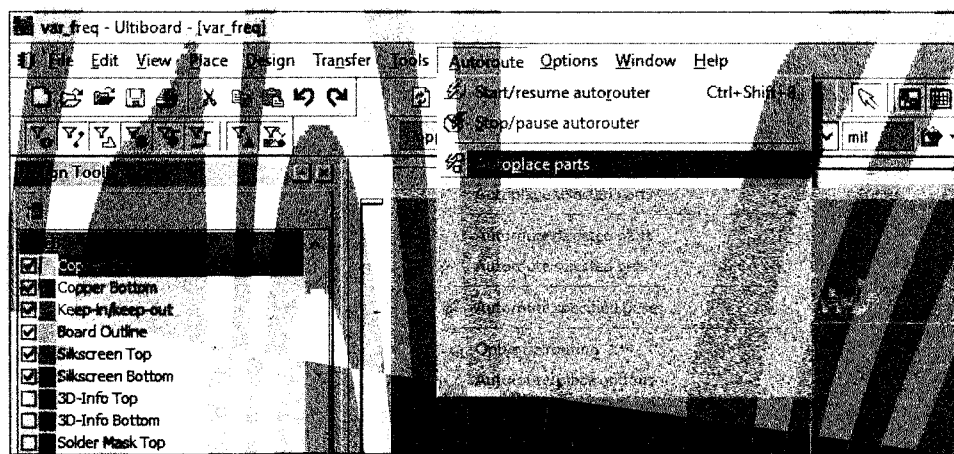


*Рис. 17.5. Преобразование netlist в компоненты для разводки*

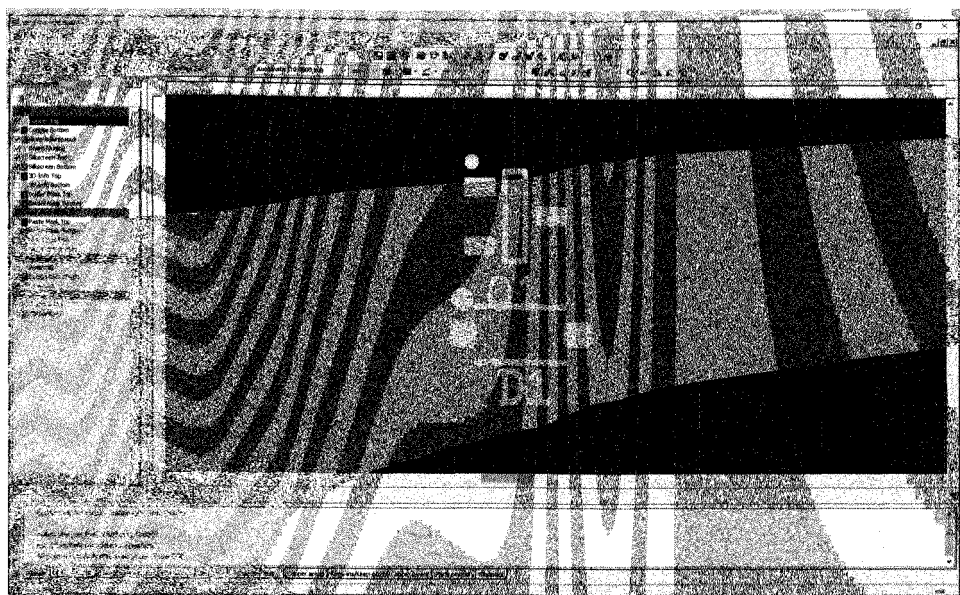
На рис. 17.5 видно, что компоненты очень маленькие. При их размещении размеры не меняются. Но наведите курсор мышки на группу компонентов и колесиком мышки измените размер (рис. 17.7).

Выделим все компоненты. Для этого достаточно нажать левую клавишу мышки и обвести компоненты (рис. 17.8).

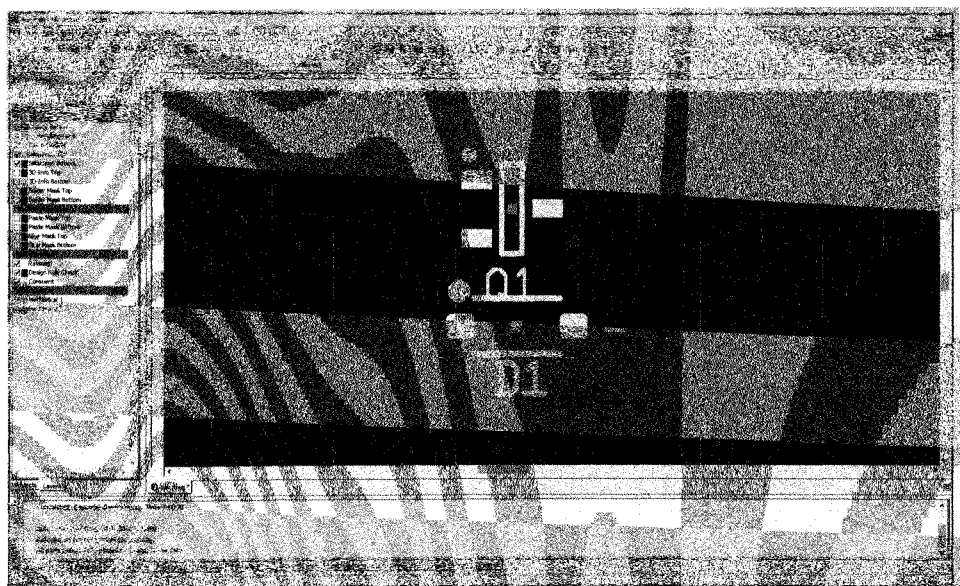
Теперь запустим автоматическую разводку платы (рис. 17.9).



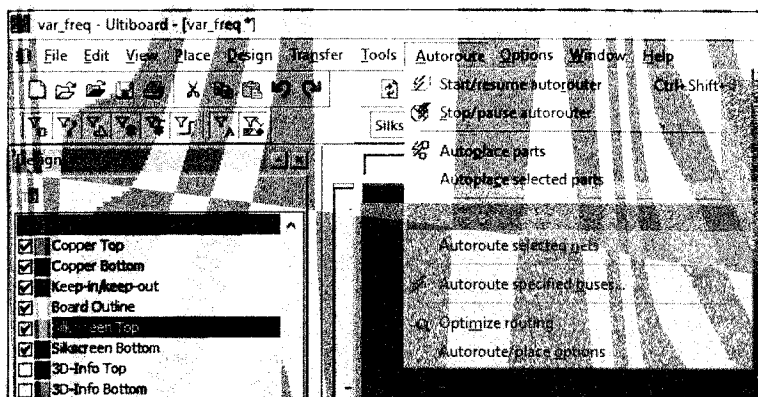
*Рис. 17.6. Команда автоматического размещения компонентов*



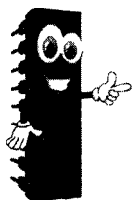
**Рис. 17.7.** Компоненты автоматически размещены в рабочем поле



**Рис. 17.8.** Выделение компонентов схемы на плате

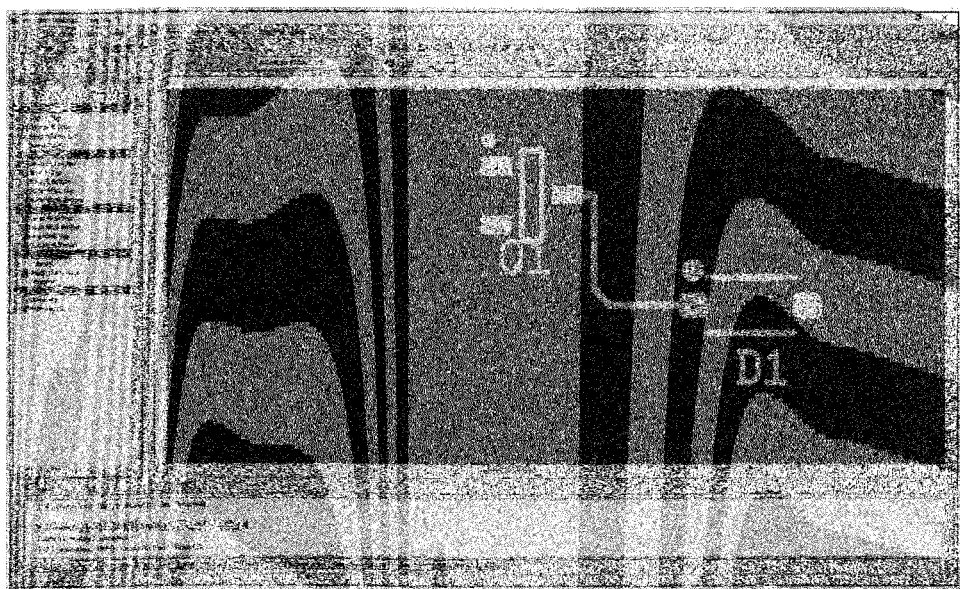


*Рис. 17.9. Команда автоматической разводки*



### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Этот раздел меню (команда) становится активной только после выделения компонентов. Все подменю программы активизируются только тогда, когда они должны быть активны.*



*Рис. 17.10. Первая попытка разводки платы*

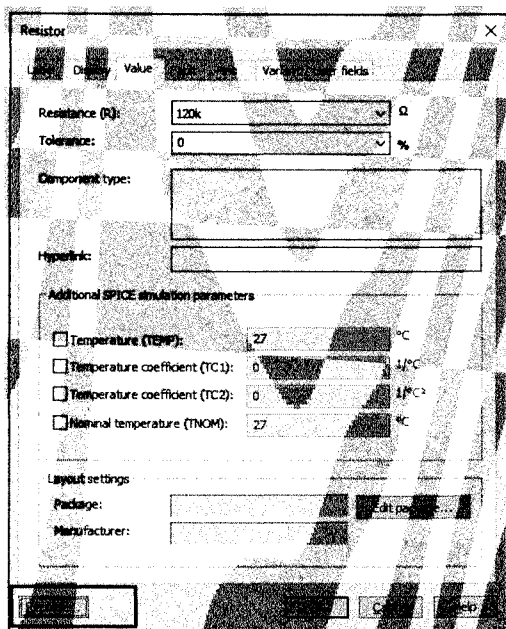


Рис. 17.11. Диалоговое окно свойств резистора

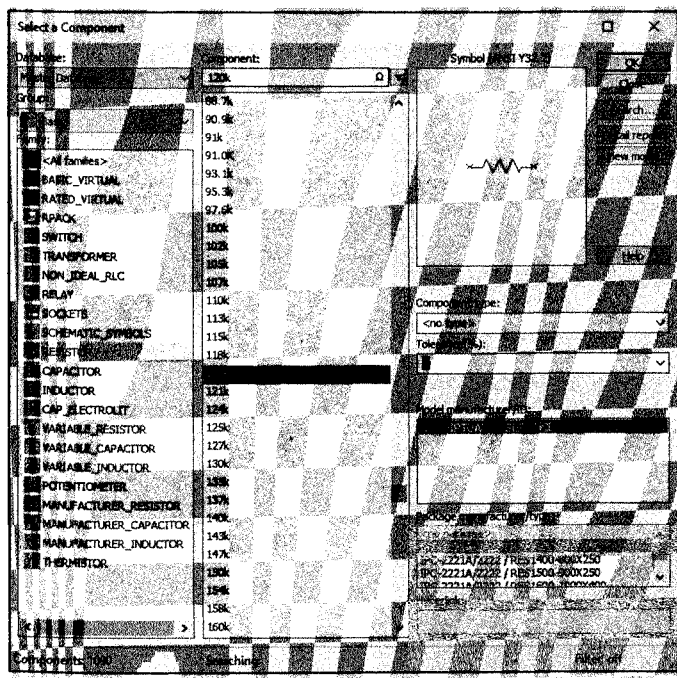


Рис. 17.12. Выбор посадочного места для резистора

После разводки платы можно перетащить отдельные компоненты в новое место (рис. 17.10). И теперь, похоже, мы оказались в ситуации, о которой нас предупреждали в самом начале работы. Компоненты, для которых не было посадочных мест, на плату не попали.

Приходится вернуться к началу. В схеме рис. 17.1 открываем последовательно свойства всех резисторов, конденсаторов и индуктивностей. Используем кнопку **Replace**, чтобы изменить свойства (рис. 17.11).

В итоге мы оказываемся в менеджере выбора компонентов, где можем убедиться, что для этого компонента посадочное место (*package*) не выбрано. Дополнительно можно задать допуск компонентов (рис. 17.12).

Кстати, открывая свойства следующего резистора, можно увидеть, что для него посадочное место и допуск уже определены. Если вас это устраивает, а вы могли бы использовать разные компоненты, например, отличающиеся по мощности резисторы, если вас это устраивает, то остается только проверить другие резисторы и перейти к конденсаторам (рис. 17.13).

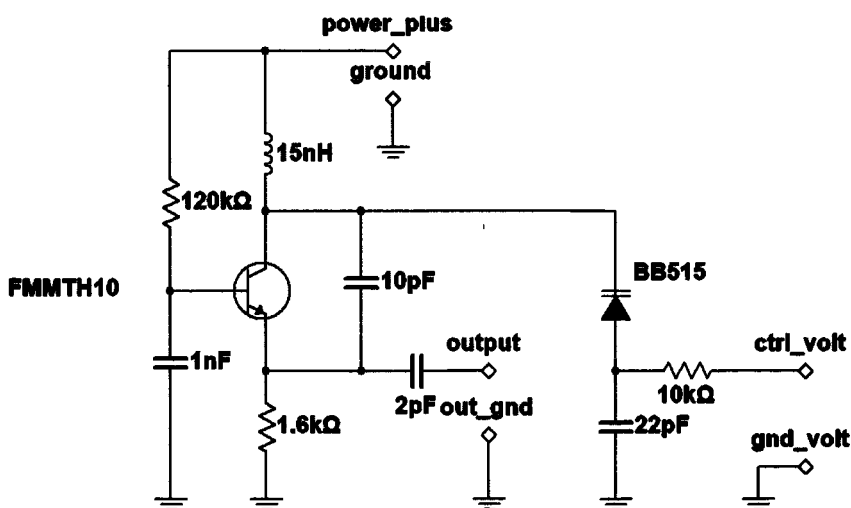


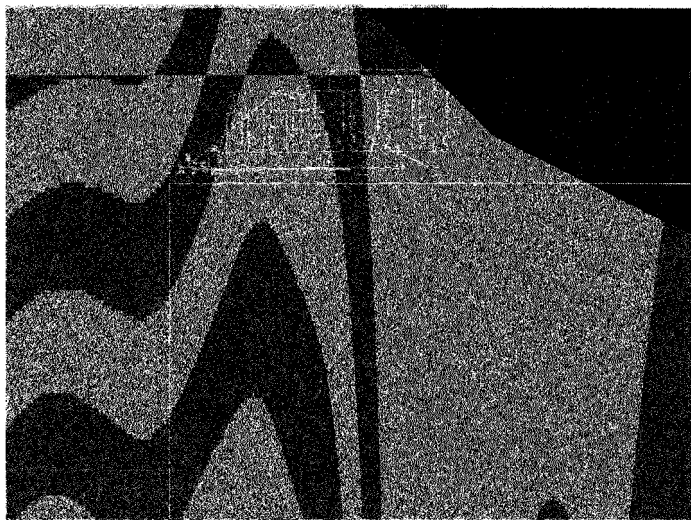
Рис. 17.13. Изменение вида схемы (изменился цвет деталей)

**СОВЕТ.**

*Обращайте только внимание на значение компонента — когда открывается менеджер, он покажет последний выбор при сборке схемы, а, нажав кнопку ОК, можно изменить значение компонента.*

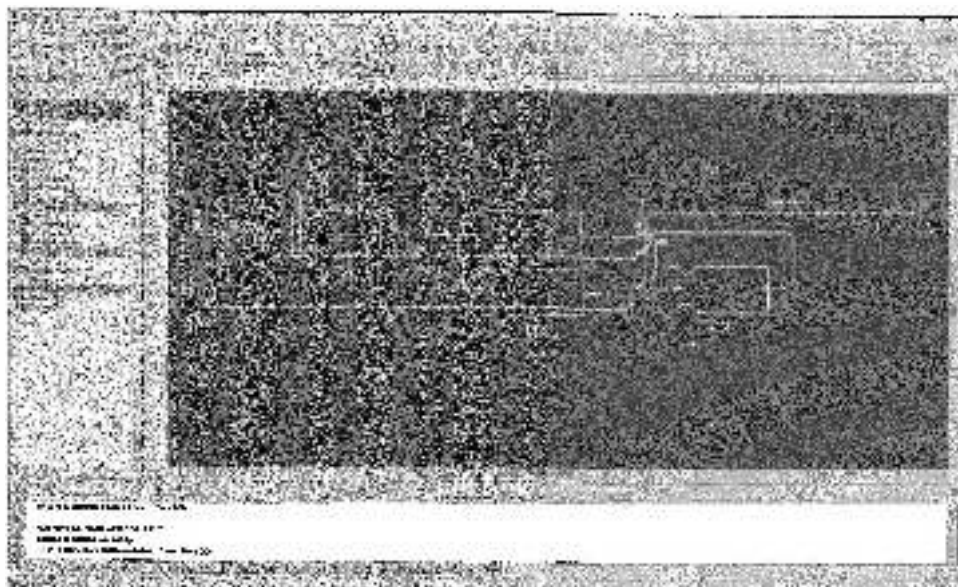
Исправив все компоненты, **обратите внимание** — цвет компонентов изменился. Если для моделирования неважны некоторые детали, то для разводки печатной платы эти детали основные.

Теперь остается повторить все, что описано выше, операцию за операцией, чтобы получить... Посмотрите, как пополнился «склад» компонентов (**рис. 17.14**).

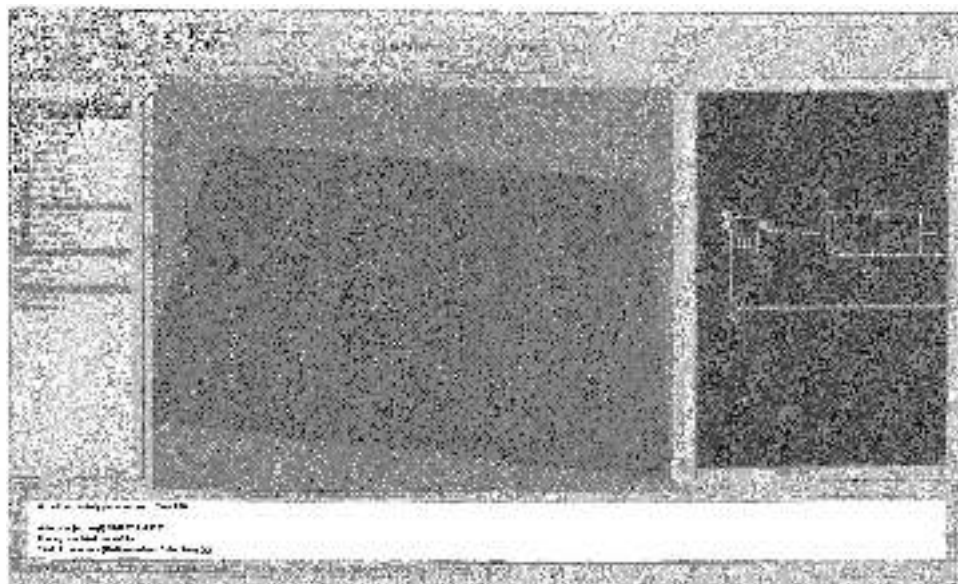


**Рис. 17.14.** Пополнение в «стане» компонентов для разводки

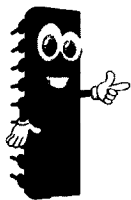
Завершив все процедуры по разводке, вы получаете картину печатной платы (**рис. 17.15**). Я советую немного раздвинуть компоненты, чтобы яснее видеть связи между ними.



**Рис. 17.15.** Окончательный вид печатной платы



**Рис. 17.16.** Трехмерный вид платы



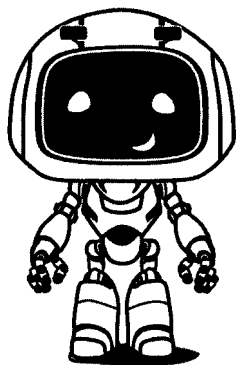
### ПРИМЕЧАНИЕ.

*Я не советую начинающим увлекаться созданием печатных плат, но рисунок печатной платы, который можно вывести на печать, послужит хорошей монтажной схемой. Монтажная схема даже для опытных специалистов – это удобное подспорье в работе.*

И последнее, о чем следует сказать, как и другие программы разводки печатных плат, Ultiboard позволяет увидеть плату в трех измерениях (рис. 17.16).

Наконец, размер платы можно изменить, достаточно выделить контур платы, подцепить мышкой ее угол, чтобы изменить размер платы. Если это, конечно, нужно на данном этапе работы: в наши намерения входило получить только монтажную схему. Или нет?



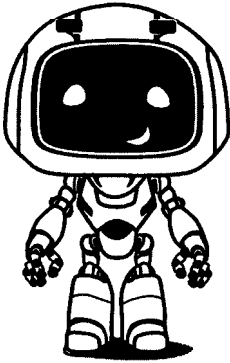


# ПОСЛЕСЛОВИЕ

Ваши знания — ваша сила. И зависит она не столько от того, какой у вас компьютер, не от того, какое программное обеспечение вы используете; не зависит от «крутизны» приборов, которые есть в вашем распоряжении, и от того, используете вы печатную макетную плату или беспаячную, пользуетесь паяльной станцией или самым дешевым паяльником.

Зависит ваша сила от желания узнавать, желания приобретать опыт и делиться им с другими. И не забывайте о книгах — они хорошие помощники в вашем стремлении к знаниям. Не следует думать, что книги, изданные 20—30 лет назад, устарели. Физик Георг Ом открыл свой закон в 1826 году, а мы им пользуемся и по сей день! Даже появилась поговорка у электриков и электронщиков:

***«Не знаешь Ома — сиди дома!»***



# ПЕРЕВОД НЕКОТОРЫХ ТЕРМИНОВ

File – Файл

Таблица П.1

| Термин               | Перевод               | Примечание                      |
|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| New                  | Новый                 | Создается новый файл            |
| Open                 | Открыть               | Открыть существующий файл       |
| Open samples         | Открыть примеры       | Открывает примеры               |
| Close                | Заккрыть              | Заккрыть файл                   |
| Close all            | Заккрыть все          | Закрываются все файлы           |
| Save                 | Сохранить             | Сохранить файл                  |
| Save as              | Сохранить как         | Сохранить файл под новым именем |
| Save all             | Сохранить все         | Сохраняются все файлы           |
| Export template      | Экспортировать шаблон | Экспорт готового шаблона        |
| Snippets             | Фрагменты             | Операции с фрагментами          |
| Projects and packing | Проекты и упаковки    | Операции с проектами            |
| Print                | Печать                | Печать схемы                    |
| Print preview        | Предпросмотр          | Просмотр перед печатью          |
| Print options        | Опции печати          | Настройка печати                |

| Термин           | Перевод            | Примечание                                |
|------------------|--------------------|-------------------------------------------|
| Recent designs   | Предыдущие схемы   | Выбор схемы, над которой работали ранее   |
| Recent projects  | Предыдущие проекты | Выбор проекта, над которым работали ранее |
| File information | Информация о файле | Вся информация о файле                    |
| Exit             | Выход              | Выход из программы                        |

*Snippets – фрагменты*

Таблица П.2

| Термин                                  | Перевод                               | Примечание                                  |
|-----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|
| Save selection as snippet <sup>1)</sup> | Сохранить выделение как фрагмент      | Сохранение части схемы в качестве фрагмента |
| Save active design as snippet           | Сохранить активную схему как фрагмент | Сохранение разработки в качестве фрагмента  |
| Paste snippet                           | Вставить фрагмент                     | Вставляет фрагмент в рабочее поле чертежа   |
| Open snippet file                       | Открыть файл фрагмента                | Открывает ранее сохраненный фрагмент        |

<sup>1)</sup> Активной команда становится после выделения схемы или ее части

*Projects and packing – проекты и упаковка*

Таблица П.3

| Термин                     | Перевод          | Примечание                    |
|----------------------------|------------------|-------------------------------|
| New project                | Новый проект     | Создает новый проект          |
| Open project               | Открыть проект   | Открывает существующий проект |
| Save project <sup>1)</sup> | Сохранить проект | Сохраняет проект              |

| Термин                        | Перевод             | Примечание                                |
|-------------------------------|---------------------|-------------------------------------------|
| Close project <sup>1)</sup>   | Заккрыть проект     | Закрывает проект                          |
| Pack project <sup>1)</sup>    | Упаковать проект    | Создает архив проекта                     |
| Unpack project                | Распаковать проект  | Разархивирует проект                      |
| Upgrade project <sup>1)</sup> | Обновить проект     | Обновление версии проекта                 |
| Version control <sup>1)</sup> | Управление версиями | Управление существующими версиями проекта |

<sup>1)</sup> Команда активизируется при готовности к ее выполнению

#### *Print options – настройки печати*

*Таблица П.4*

| Термин            | Перевод                   | Примечание                                  |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------------------|
| Print sheet setup | Установка страницы печати | Настраивается страница для вывода на печать |
| Print instruments | Устройства печати         | Выбор устройства для печати страницы        |

#### *Edit – редактирование*

*Таблица П.5*

| Термин             | Перевод        | Примечание                                          |
|--------------------|----------------|-----------------------------------------------------|
| Undo <sup>1)</sup> | Отменить       | Отменить предыдущую операцию                        |
| Redo <sup>1)</sup> | Вернуть        | Вернуть ранее отмененную операцию                   |
| Cut <sup>2)</sup>  | Вырезать       | Вырезает выделенный объект                          |
| Copy <sup>2)</sup> | Копировать     | Копирует выделенный объект                          |
| Paste              | Вставить       | Вставляет ранее скопированный или вырезанный объект |
| Paste special      | Особая вставка | См. далее                                           |

| Термин                                | Перевод                            | Примечание                                                                    |
|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Delete <sup>2)</sup>                  | Удалить                            | Удаляет выделенный объект                                                     |
| Delete multi_page                     | Удаление в многостраничном проекте | Открывает диалог для выделения страниц в многостраничном проекте для удаления |
| Select all                            | Выделить все                       | Выделяет все на странице                                                      |
| Find                                  | Искать                             | Открывает диалог поиска                                                       |
| Merge selected buses <sup>2)</sup>    | Объединение выделенных шин         | Объединяет выделенные шины, не имеющие присоединенных записей шины            |
| Graphic annotation                    | Графическая аннотация              | См. далее                                                                     |
| Order <sup>5)</sup>                   | Порядок                            | Порядок расположения                                                          |
| Assign to layer                       | Назначить слою                     | На разных слоях можно выполнять комментарии, текст/графику и т. д.            |
| Layer setting                         | Установки слоя                     | Диалог настроек слоев                                                         |
| Orientation <sup>2)</sup>             | Ориентация                         | Для выделенного объекта возможны повороты и отражения                         |
| Align <sup>2)</sup>                   | Выравнивание                       | Выравнивание объектов                                                         |
| Title block position                  | Задание расположения штампа        | Штамп можно расположить в разных углах чертежа                                |
| Edit symbol/title block <sup>2)</sup> | Редактировать символ/штамп         | Вызывает редактор символов или штампа                                         |
| Font <sup>3)</sup>                    | Шрифт                              | Выбор шрифта                                                                  |

| Термин                | Перевод       | Примечание                                            |
|-----------------------|---------------|-------------------------------------------------------|
| Comment <sup>4)</sup> | Комментарий   | Редактирование комментария                            |
| Forms/questions       | Формы/вопросы | Позволяет добавить описание разработки в удобном виде |
| Properties            | Свойства      | Открывает диалог свойств страницы                     |

<sup>1)</sup> Активизируется при операциях

<sup>2)</sup> Активизируется при выделении объекта

<sup>3)</sup> Активизируется при выделении надписи

<sup>4)</sup> Активизируется при выделении комментария

<sup>5)</sup> Выбор порядка изображения на графике: на передний план, на задний план

### *Paste special – специальная вставка*

Таблица П.6

| Термин                                                  | Перевод                     | Примечание                                                   |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Paste as subcircuit <sup>1)</sup>                       | Вставить как подсхему       | Позволяет выделить часть схемы для вставки на новую страницу |
| Paste without renaming on-page connectors <sup>1)</sup> | Вставить без переименования | Вставка с теми же именами соединителей                       |

<sup>1)</sup> Активизируется при выделении объектов

### *Graphic annotation – графическая аннотация*

Таблица П.7

| Термин                   | Перевод         | Примечание                                        |
|--------------------------|-----------------|---------------------------------------------------|
| Fill color <sup>1)</sup> | Цвет заполнения | Выбор цвета для заполнения                        |
| Pen color                | Цвет ручки      | Выбор цвета для ручки                             |
| Pen style                | Стиль линий     | Выбор, будет ли линия сплошная, штриховая и т. д. |
| Fill type                | Тип заполнения  | Сплошной, сетка и т. п.                           |
| Arrow                    | Стрелка         | Выбор вида стрелки                                |

<sup>1)</sup> Выполняется для графики, нарисованной на странице

View – вид

Таблица П.8

| Термин                          | Перевод                                | Примечание                                                                                  |
|---------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Full screen                     | Полный экран                           | Полноэкранный режим                                                                         |
| Parent sheet                    | Родительский лист                      | Переход от подсхемы                                                                         |
| Zoom in                         | Увеличение                             | Увеличить вид схемы                                                                         |
| Zoom out                        | Уменьшение                             | Уменьшить вид схемы                                                                         |
| Zoom area                       | Область масштабирования                | Увеличение масштаба выбранных компонентов при отображении рабочей области менее чем на 100% |
| Zoom sheet                      | Масштабирование листа                  | Отображает весь текущий лист в рабочей области                                              |
| Zoom to magnification           | Увеличить до значения                  | В диалоге вводится новое значение                                                           |
| Zoom selection <sup>1)</sup>    | Увеличить выделенное                   | Масштабируются выделенные объекты                                                           |
| Grid                            | Сетка                                  | Включает/выключает сетку                                                                    |
| Border                          | Рамка                                  | Включает/выключает рамку                                                                    |
| Print page bounds               | Печать границ страницы                 | Показать/скрыть границы страницы в рабочем окне                                             |
| Ruler bars                      | Линейки                                | Показать/скрыть линейки                                                                     |
| Status bar                      | Строка состояния                       | Показать/скрыть строку состояния                                                            |
| Design toolbox                  | Инструментальная панель                | Показать/скрыть инструментальную панель                                                     |
| Spreadsheet View                | Вид электронной таблицы                | Показать/скрыть область вывода                                                              |
| SPICE Netlist Viewer            | Обозреватель SPICE Netlist             | Показывает/скрывает окно вывода netlist                                                     |
| LabVIEW Co-simulation Terminals | Терминалы совместной симуляции LabVIEW | Показывает/скрывает окно симуляции LabVIEW                                                  |
| Circuit Parameters              | Параметры электрической цепи           | Показывает/скрывает окно параметров схемы                                                   |

| Термин                           | Перевод                      | Примечание                                          |
|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Description Box                  | Окно описания                | Показывает/скрывает окно описания                   |
| Toolbars                         | Инструментальные панели      | Выбор инструментальных панелей                      |
| Show comment/probe <sup>1)</sup> | Показать комментарий/пробник | Показывает/скрывает окошко комментария или пробника |
| Grapher                          | Самописец                    | Открывает окно графики                              |

<sup>1)</sup> Активируется при выделении объекта

### Toolbars – инструментальные панели

Таблица П.9

| Термин                   | Перевод                            |
|--------------------------|------------------------------------|
| View                     | Вид                                |
| Main                     | Главная                            |
| Graphic Annotation       | Графические аннотации              |
| Analog components        | Аналоговые компоненты              |
| Basic                    | Базовые                            |
| Diodes                   | Диоды                              |
| Transistor components    | Транзисторы                        |
| Measurement components   | Компоненты измерения               |
| Miscellaneous components | Прочие компоненты                  |
| Components               | Компоненты                         |
| Power source components  | Источники питания                  |
| Rated virtual components | Номинальные виртуальные компоненты |
| Signal source components | Источники сигналов                 |
| Virtual                  | Виртуальные                        |
| Simulation               | Симуляция                          |
| Instruments              | Инструменты                        |
| Description Editor       | Редактор описания                  |
| MCU                      | Инструментальная панель отладки    |



| Термин                               | Перевод                |
|--------------------------------------|------------------------|
| LabVIEW instruments                  | Инструменты LabVIEW    |
| NI ELVISmx instruments <sup>1)</sup> | Инструменты NI ELVISmx |
| Place probe                          | Пробники               |

<sup>1)</sup> Есть не во всех версиях

*Place – размещение*

*Таблица П.10*

| Термин                                      | Перевод                       | Примечание                               |
|---------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|
| Component                                   | Компонент                     | Вызывает менеджер компонентов            |
| Probe                                       | Пробник                       | Список доступных пробников               |
| Junction                                    | Пересечение                   | Соединить два провода                    |
| Wire                                        | Соединение                    | Начало соединения компонентов            |
| Bus                                         | Шина                          | Создание шины                            |
| Connectors                                  | Разъемы                       | Список возможных соединителей            |
| New hierarchical block                      | Новый иерархический блок      | Создание блока                           |
| Hierarchical block from file                | Иерархический блок из файла   | Выбор файла иерархического блока         |
| Replace by hierarchical block <sup>1)</sup> | Заменить иерархическим блоком | Замещает объект иерархическим блоком     |
| New subcircuit                              | Новая подсхема                | Открывает диалог создания подсхемы       |
| Replace by subcircuit <sup>1)</sup>         | Заменить подсхемой            | Замещает объект подсхемой                |
| Multi-page                                  | Многостраничный               | Создает новую страницу                   |
| Bus vector connect                          | Векторное соединение шины     | Метод соединения многовыводных устройств |
| Comment                                     | Комментарий                   | Вставляет комментарий                    |

| Термин                                 | Перевод             | Примечание                                 |
|----------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|
| Text                                   | Текст               | Вставляет текст                            |
| Graphics                               | Графические объекты | Перечень графических элементов для вставки |
| Circuit parameter legend <sup>2)</sup> | Параметры схемы     | Добавляет список параметров на лист        |
| Title block                            | Штамп               | Вставляет штамп из файла                   |

<sup>1)</sup> Активируется при выделении объекта

<sup>2)</sup> Активируется при открытом окне параметров с добавленными параметрами

### MCU – микропроцессорные компоненты

Таблица П. 11

| Термин                               | Перевод                    | Примечание                                 |
|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------|
| No MCU component found <sup>1)</sup> | Не найден MCU компонент    | Пассивно при отсутствии компонентов MCU    |
| Debug view format                    | Формат окна отладки        | Список возможных вариантов                 |
| MCU windows <sup>2)</sup>            | Окна MCU компонентов       | Открывает окно списка MCU                  |
| Line numbers                         | Нумерация строк            | Включает номера строк                      |
| Pause                                | Пауза                      | При отладке MCU                            |
| Step into                            | Шаг внутрь                 | При пошаговой отладке                      |
| Step over                            | Перешагнуть                | Перешагнуть через операции                 |
| Step out                             | Выйти                      | Выйти из блока операций                    |
| Run to cursor                        | Пройти до курсора          | При отладке                                |
| Toggle breakpoint                    | Переключить точку останова | Включает/выключает точку останова          |
| Remove all breakpoints               | Удалить все точки останова | Удаляет все ранее заданные точки остановки |

<sup>1)</sup> Активируется при добавлении компонентов MCU, содержит их список

<sup>2)</sup> В окне списка MCU можно задать нужный компонент, открывается окно содержимого MCU

*Debug view format – формат окна отладки*

Таблица П.12

| Термин                                                      | Перевод                                                                         |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Use source code as primary language in debug window         | Использовать исходный код в качестве основного языка в окне отладчика           |
| Show disassembly instead of listing file assembly code      | Показывать дисассемблирование вместо листинга файла ассемблерного кода          |
| Show secondary language as comments in debug window         | Показывать второй язык в качестве комментариев в окне отладчика                 |
| Show line numbers for source code in debug window           | Показывать номера строк для исходного кода в окне отладчика                     |
| Show memory addresses for source code in debug window       | Показывать адреса памяти для исходного кода в окне отладчика                    |
| Show memory addresses in listing assembly/disassembly code  | Показывать адреса в листинге ассемблерного/дисассемблерного кода                |
| Show hex opcodes in listing assembly/disassembly code       | Показывать шестнадцатеричный код в листинге ассемблерного/дисассемблерного кода |
| Show jump/go to labels in listing assembly/disassembly code | Показывать переходы к меткам в листинге ассемблерного/дисассемблерного кода     |
| Show headings above code                                    | Показывать заголовки над кодом                                                  |

*Simulate – моделирование*

Таблица П.13

| Термин                   | Перевод                     | Примечание                                    |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| Run                      | Запустить                   | Запускает моделирование                       |
| Pause <sup>1)</sup>      | Пауза                       | Приостанавливает моделирование                |
| Stop <sup>1)</sup>       | Стоп                        | Останавливает моделирование                   |
| Analyses and simulations | Анализ и виды моделирования | Вызывает диалог выбора вида моделирования     |
| Instruments              | Инструменты                 | Список виртуальных приборов для моделирования |

| Термин                                | Перевод                                    | Примечание                                                             |
|---------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Mixed-mode simulation settings        | Установки моделирования в смешанном режиме | Определяет параметры при моделировании аналоговых и цифровых устройств |
| Probe settings                        | Установки пробников                        | Вызывает диалог установок для пробников                                |
| Reverse probe direction <sup>2)</sup> | Изменение направления для пробника         | Меняет полярность подключения пробника                                 |
| Locate reference probe                | Локализация опорного пробника              | Подсвечивает выделенный пробник, относящийся к опорному напряжению     |
| NI ELVIS II simulation settings       | Задания симуляции                          | Не во всех версиях                                                     |
| Postprocessor                         | Постпроцессор                              | Открывает диалог настройки постпроцессора                              |
| Simulation error log/audit trail      | Лог/аудит ошибок симуляции                 | Показывает/скрывает журнал ошибок симуляции                            |
| XSPICE command line interface         | Интерфейс командной строки XSPICE          | Окно для ввода команд XSPICE                                           |
| Load simulation settings              | Загрузить установки моделирования          | Загружаются ранее сохраненные параметры                                |
| Save simulation settings              | Сохранить установки моделирования          | Сохраняются настройки моделирования                                    |
| Automatic fault option                | Опции автоматических аварий                | Распределяет аварии для случайно выбранных компонентов                 |
| Clear instrument data                 | Очистить данные инструментов               | Очищает данные симуляции от приборов                                   |
| Use tolerances                        | Использовать точность                      | Для компонентов используется заданный допуск                           |

<sup>1)</sup> Активируется при моделировании схемы

<sup>2)</sup> Активируется при выделении токового пробника

*Transfer – переход*

Таблица П. 14

| Термин                                         | Перевод                           | Примечание                                                     |
|------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Transfer to Ultiboard                          | Передача в Ultiboard              | Переход в программу разводки печатной платы                    |
| Forward annotate to Ultiboard                  | Переслать аннотацию в Ultiboard   | Отправляется аннотация либо в Ultiboard, либо в файл Ultiboard |
| Backward annotate from file                    | Получить аннотацию из файла       | Открывается проводник для выбора файла                         |
| Export to other PCB layout file                | Экспортировать в другой PCB файл  | Экспорт в файл другой программы разводки                       |
| Export SPICE netlist                           | Экспортировать SPICE netlist      | Экспорт netlist вашего проекта                                 |
| Highlight selection in Ultiboard <sup>1)</sup> | Подсветить выделенное в Ultiboard | Подсвечивает выделенный компонент при переходе в Ultiboard     |

<sup>1)</sup> Активируется при выделении объекта*Tools – инструменты*

Таблица П.15

| Термин                             | Перевод                                           | Примечание                                    |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Component wizard                   | Мастер компонентов                                | Помощник при создании нового компонента       |
| Database                           | База данных                                       | Открывает менеджер баз данных                 |
| Variant manager                    | Менеджер вариантов                                | Открывает диалог менеджера вариантов          |
| Set active variant                 | Установить активный вариант                       | Открывает диалог менеджера активного варианта |
| Circuit wizards                    | Мастера схем                                      | Список ряда устройств                         |
| SPICE netlist viewer <sup>1)</sup> | Обозреватель SPICE netlist                        | Открывает диалог работы с netlist             |
| Advanced RefDes configuration      | Расширенная конфигурация позиционного обозначения | Перенумерует компоненты в рабочем поле        |

| Термин                                | Перевод                       | Примечание                                                    |
|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Replace components <sup>2)</sup>      | Замена компонентов            | Открывается диалог выбора компонентов                         |
| Update components                     | Обновить компоненты           | Обновляет компоненты предыдущих версий                        |
| Update subsheet symbols <sup>2)</sup> | Обновить символы подсхемы     | Обновляет компоненты подсхемы, сделанной в предыдущих версиях |
| Electrical rules check                | Проверка электрических правил | Открывает диалог проверки электрических правил                |
| Clear ERC markers                     | Очистить маркеры ERC          | Очищает ошибочные маркеры ERC                                 |
| Toggle NC marker                      | Переключение NC маркера       | Размещает маркер «Нет соединения» (NC) на выбранном выводе    |
| Symbol Editor                         | Редактор символов             | Редактор для создания и правки символов                       |
| Title Block Editor                    | Редактор штампа               | Редактор для создания и правки штампа                         |
| Description Box Editor                | Окно редактора описания       | Правка и создания описания                                    |
| Capture screen area                   | Захват области экрана         | -                                                             |
| Online design resources               | Ресурсы онлайн-разработки     | -                                                             |

<sup>1)</sup> Список операций с netlist

<sup>2)</sup> Активируется при выделении объекта

## Reports – сообщения

Таблица П.16

| Термин                  | Перевод                          |
|-------------------------|----------------------------------|
| Bill of Materials       | Спецификация материалов          |
| Component detail report | Детальное сообщение о компоненте |

| Термин                 | Перевод                              |
|------------------------|--------------------------------------|
| Netlist report         | Отчет netlist                        |
| Cross reference report | Полный список деталей активной схемы |
| Schematic statistics   | Статистика схемы                     |
| Spare gates report     | Список неиспользуемых вентилях       |

*Options – параметры*

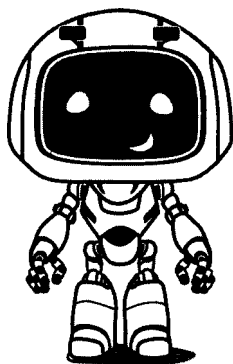
Таблица П.17

| Термин              | Перевод                           | Примечание                                       |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|
| Global options      | Глобальные опции                  | Открывает окно глобальных опций                  |
| Sheet properties    | Свойства страницы                 | Настройка свойств страницы                       |
| Lock toolbars       | Блокировать инструментальные меню | Блокировать/разблокировать инструментальные меню |
| Customize interface | Настроить интерфейс               | Открывает диалог настройки интерфейса программы  |

*Window – окно*

Таблица П.18

| Термин            | Перевод                 | Примечание                             |
|-------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| New window        | Новое окно              | Создает новое окно                     |
| Close             | Закреть                 | Закрывает текущее окно                 |
| Close all         | Закреть все             | Закрывает все окна проекта             |
| Cascade           | Каскад                  | Выстраивает окна каскадом              |
| Tile horizontally | Выстроить горизонтально | Окна выстраиваются горизонтально       |
| Tile vertically   | Выстроить вертикально   | Окна проекта выстраиваются вертикально |
| 1 Design1         | -                       | Все окна проекта                       |
| Next window       | Следующее окно          | От текущего                            |
| Previous window   | Предыдущее окно         | От текущего                            |
| Windows           | Окна                    | Показывает все окна проекта            |



# ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА и РЕСУРСЫ ИНТЕРНЕТА

1. Гаврилов С.А. Схемотехника. Мастер-класс. — СПб: Наука и Техника. — 2016.

2. Зызюк А.Г. Блок питания ремонтника-радиоловителя с возможностью плавной регулировки стабилизируемого тока. // Радиоаматор, №12 — 2007, №1, 2 — 2008

3. Хернтер Марк Е. Multisim. Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. — М: ДМК-Пресс. — 2006

4. Шустов М.А. Цифровая схемотехника. — СПб: Наука и Техника. — 2018

5. <http://elektron.ucoz.ru/load>

6. <http://vgololobov.narod.ru/content/articles/multisim10.zip>

7. <http://www.ee.bgu.ac.il/~kushnero/belles-lettres/Cukonverter.pdf>

8. <http://www.ni.com/ru-ru/shop/electronic-test-instrumentation/application-software-for-electronic-test-and-instrumentation-category/what-is-multisim.html>





...➤ **Предлагаем широкий ассортимент технической литературы ведущих издательств (более 2000 наименований):**

- Компьютерная литература
- Радиоэлектроника
- Телекоммуникации и связь
- Транспорт, строительство
- Научно-популярная медицина, педагогика, психология

...➤ **Чем привлекателен наш магазин:**

- низкие цены;
- ежедневное пополнение ассортимента;
- поиск книг под заказ;
- обслуживание за наличный и безналичный расчет;
- гибкая система скидок;
- комплектование библиотек;
- обеспечение школ учебниками по информатике;
- возможна доставка.

Наш адрес: г. Санкт-Петербург  
пр. Обуховской Обороны д. 107  
ст. метро Елизаровская

**Справки о наличии книг по тел. 412-70-26**

**E-mail: [admin@nit.com.ru](mailto:admin@nit.com.ru)**  
(расылка каталога и ценного предложения по запросу)

Мы работаем с 10 до 19 часов без обеда и выходных  
(в субботу и воскресенье до 18 часов)



Издательство «Наука и Техника»

**КНИГИ ПО КОМПЬЮТЕРНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ,  
МЕДИЦИНЕ, РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ**

**Уважаемые читатели!**

Книги издательства «Наука и Техника» вы можете:

- заказать в нашем интернет-магазине **БЕЗ ПРЕДОПЛАТЫ** по **ОПТОВЫМ** ценам

**www.nit.com.ru**

- более 3000 пунктов выдачи на территории РФ, доставка 3—5 дней
- более 300 пунктов выдачи в Санкт-Петербурге и Москве, доставка — на следующий день

**Справки и заказ:**

- на сайте **www.nit.com.ru**
- по тел. (812) 412-70-26
- по эл. почте [nitmail@nit.com.ru](mailto:nitmail@nit.com.ru)

- **приобрести в магазине издательства по адресу:**

Санкт-Петербург, пр. Обуховской обороны, д. 107  
М. Елизаровская, 200 м за ДК им. Крупской  
Ежедневно с 10.00 до 18.30

Справки и заказ: тел. (812) 412-70-26

- **приобрести в Москве:**

«Новый книжный» Сеть магазинов  
ТД «БИБЛИО-ГЛОБУС»

тел. (495) 937-85-81, (499) 177-22-11  
ул. Мясницкая, д. 6/3, стр. 1, ст. М «Лубянка»  
тел. (495) 781-19-00, 624-46-80

Московский Дом Книги,  
«ДК на Новом Арбате»

ул. Новый Арбат, 8, ст. М «Арбатская»,  
тел. (495) 789-35-91

Московский Дом Книги,  
«Дом технической книги»

Ленинский пр., д. 40, ст. М «Ленинский пр.»,  
тел. (499) 137-60-19

Московский Дом Книги,  
«Дом медицинской книги»

Комсомольский пр., д. 25, ст. М «Фрунзенская»,  
тел. (499) 245-39-27

Дом книги «Молодая гвардия»

ул. Б. Полянка, д. 28, стр. 1, ст. М «Полянка»  
тел. (499) 238-50-01

- **приобрести в Санкт-Петербурге:**

Санкт-Петербургский Дом Книги  
Буквояд. Сеть магазинов

Невский пр. 28, тел. (812) 448-23-57  
тел. (812) 601-0-601

- **приобрести в регионах России:**

г. Воронеж, «Амитель» Сеть магазинов  
г. Екатеринбург, «Дом книги» Сеть магазинов  
г. Нижний Новгород, «Дом книги» Сеть магазинов  
г. Владивосток, «Дом книги» Сеть магазинов  
г. Иркутск, «Продать» Сеть магазинов  
г. Омск, «Техническая книга» ул. Пушкина, д. 101

тел. (473) 224-24-90  
тел. (343) 289-40-45  
тел. (831) 246-22-92  
тел. (423) 263-10-54  
тел. (395) 298-88-82  
тел. (381) 230-13-64

**Мы рады сотрудничеству с Вами!**