

**И. О. Главного редактора:**

Павел Асташкевич

**Редакционная коллегия:**

Алексей Сигаев

Александр Фрунзе

Виктор Йовчик

**Литературный редактор:**

Ольга Кузовчикова

**Корректор:**

Юлия Асташкевич

**Дизайн и верстка:**

Виктория Сычева (обложка)

Ирина Чикина

**Отдел распространения:**

Марина Трофимова

Юрий Рубичев

Алексей Бабурин

тел.: (902) 112-9838

e-mail: compitech@mtu-net.ru

**Отдел рекламы:**

Светлана Хабарова

**Адрес редакции:**

121351 Москва, ул. Ивана Франко,

д. 40, к. 1, стр. 2

тел./факс: (095) 737-9279,

768-9456

e-mail: shemotech@mtu-net.ru

www.compitech.ru

Издатель и учредитель

ООО "ИД Скимен"

Отпечатано в ЗАО "Красногорская  
типография"

143400 МО, г. Красногорск,

Коммунальный квартал, 2

тел: (095) 562-0433

Тираж 5000 экз.

Заказ № 844

Журнал зарегистрирован в  
Министерстве РФ по делам печати,  
телерадиовещания и средств  
массовых коммуникаций.  
Per. № ПИ77-5262

Редакция не несет ответственности за  
информацию, приведенную в  
рекламных материалах

Полное или частичное  
воспроизведение материалов  
допускается только с разрешения  
ООО "ИД Скимен"

Подписной индекс издания по каталогу  
"Роспечать" – 66750 (со второго  
полугодия 2001 г.)

Цена свободная

# Содержание

## Автоматика

Стабилизатор частоты вращения коллекторного двигателя 2

## Аудиотехника

Усилитель мощности с микроконтроллерной системой управления 3

Аппаратура уличного музыканта 7

## Основы схемотехники

Микроконтроллеры? Это же просто! 12

Аналоговые коммутаторы 15

Основы схемотехники жидкокристаллических дисплеев 17

Инструментальные усилители 21

## Питающие устройства

Применение микросхемы BQ2004 в зарядных устройствах 25

## Просто и доступно

Простая схема двухпорогового звукового термосигнализатора 28

## Софт

Программное обеспечение анализа тепловых режимов  
печатных плат BetaSoft-Board 29

Verilog — инструмент разработки цифровых электронных схем 30

Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов 33

## Технологии

Фотолитографические процессы – технология работы  
с фоторезистами 35

Растворители 37

## Цифровая техника

Универсальное устройство отладки микропроцессорных систем  
на основе микроконтроллеров семейства HC908 фирмы Motorola 41

Применение ЖК-модулей МТ10Т7-7 в измерительных приборах  
на основе микроконтроллеров серии АТ90S8535 44

Статический светодиодный индикатор 47

Стационарные часы реального времени с синхронизацией  
по радиоканалу 49

## Справочный листок

CAN-контроллер фирмы Microchip 53

# Стабилизатор частоты вращения коллекторного двигателя

*Предлагаемый стабилизатор частоты вращения предназначен для работы с ведущим двигателем ЛПМ магнитофона. Стабилизатор имеет обратную связь по частоте вращения, в то же время он не требует установки никакого тахогенератора.*

Наиболее распространенным типом стабилизатора частоты вращения ведущего двигателя магнитофонов является регулятор с положительной обратной связью по току [1]. Регулирование происходит параметрически, поэтому частота довольно сильно меняется при изменении нагрузки на валу двигателя. Для повышения качества работы стабилизатора необходимо ввести обратную связь по частоте вращения. Обычно на вал двигателя устанавливается специальный датчик, чаще всего оптический [2]. Такой датчик включает в себя оптопару, световой поток которой прерывается крыльчаткой (диск с отверстиями), насаженной на вал двигателя. При этом на выходе оптопары формируются импульсы с частотой вращения двигателя, умноженной на количество прорезей в крыльчатке. Иногда применяется и другой вид датчиков – магнитный. Тогда на вал двигателя устанавливается шестеренка из ферромагнитного материала, рядом с которой крепится магнитная головка. При вращении шестеренки на выводах голов-

двигателем, создает на этом резисторе падение напряжения, которое имеет переменную составляющую около 100 мВ от пика до пика (рис. 2, график 1). Основная гармоника выделяется с помощью простейшего ФНЧ R2C1 и через разделительный конденсатор C2 поступает на вход усилителя, собранного на ОУ U1A. Коэффициент усиления задан резисторами R4, R5 так, чтобы усилитель работал в режиме ограничения. На его выходе формируется практически прямоугольный сигнал с частотой, равной утроенной частоте вращения двигателя (рис. 2, график 2). Этот сигнал дифференцируется с помощью цепочки C3R6R7R8 (рис. 2, график 3). Отрицательный выброс ограничивается диодом VD1. Далее сигнал поступает на компаратор, в качестве которого использован ОУ U1B. опорное напряжение задается с помощью делителя R9R10. На выходе компаратора формируются прямоугольные импульсы постоянной длительности (рис. 2, график 4). Постоянная составляющая такой импуль-

[2]. Необходимо отдельно остановиться на проблеме устойчивости системы автоматического регулирования. В данной ситуации дело усложняется тем, что на устойчивость влияют и механические параметры системы, количественно учесть которые очень трудно. Поэтому в некоторых случаях придется подобрать АЧХ регулятора с помощью элементов R16C7 или даже ограничить коэффициент усиления, включив параллельно этой цепочке резистор. Подбор нужно вести по критерию устойчивости регулятора как в установившемся режиме, так и во время переходных процессов. Для этого нужно с помощью осциллографа контролировать напряжение питания двигателя. При включении оно должно плавно достичь номинального значения, причем без колебательного процесса. Если при работающем двигателе изменить нагрузку на валу, напряжение питания также должно принять новое значение без колебательного процесса. В регуляторе вместо LM324 можно применить практически любые ОУ, например LM2902, сдвоенные LM358, LM2904, или даже обычные КР140УД6, УД7. В зависимости от потребляемого двигателем тока может потребоваться установить транзистор VT1 на теплоотвод. Транзистор VT2 теплоотвода не требует.

**Олег Сергеев,  
lab18979@yahoo.com**

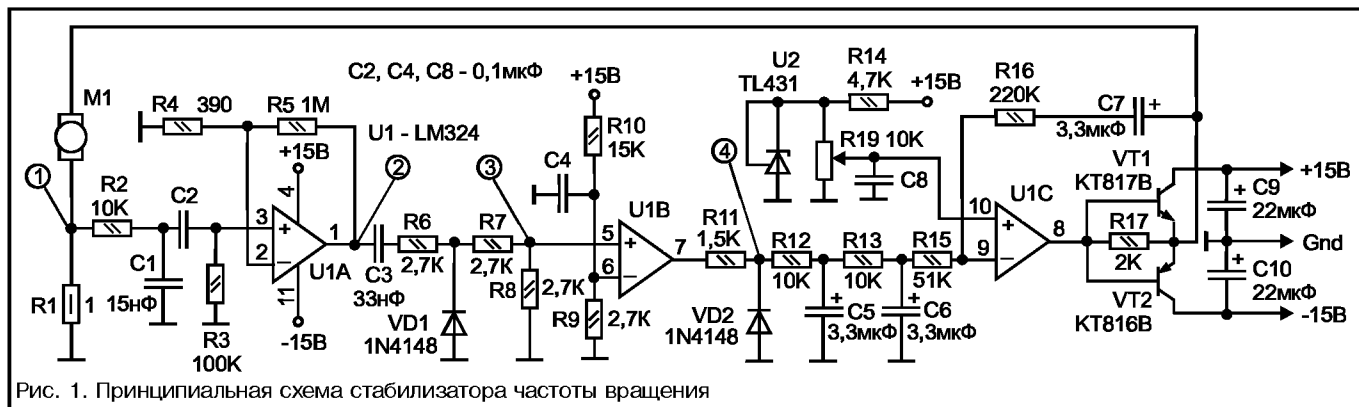


Рис. 1. Принципиальная схема стабилизатора частоты вращения

ки появляется переменное напряжение с амплитудой около милливольт и частотой, равной частоте вращения двигателя, умноженной на количество зубьев на шестеренке. Однако при доработке готового ЛПМ часто бывает трудно найти место для установки какого-либо датчика. Но это и не обязательно. Дело в том, что информацию о частоте вращения коллекторного двигателя можно извлечь из потребляемого им тока. Этот ток содержит переменную составляющую, первая гармоника которой имеет частоту, равную частоте вращения двигателя, умноженную на число пластин коллектора. Двигатели, которые чаще всего применяются в магнитофонах, имеют три пластины коллектора. Поэтому частота первой гармоники равна утроенной частоте вращения двигателя. Именно на этом принципе и построен описываемый регулятор.

Для получения сигнала обратной связи в цепь питания двигателя включен датчик тока R1 (рис. 1). Ток, потребляемый

нальна частоте следования импульсов, т. е. частоте вращения двигателя. Импульсная последовательность интегрируется с помощью цепочек R11R12C5 и R13C6. Постоянное напряжение, пропорциональное частоте вращения, поступает на пропорционально-интегрирующий регулятор, собранный на ОУ U1C. Для получения образцового напряжения применен регулируемый стабилизатор U2. Нужную частоту вращения устанавливают регулировкой этого напряжения с помощью переменного резистора R19. Выход ОУ U1C усилен комплементарным эмиттерным повторителем на транзисторах VT1, VT2. Казалось бы, направление тока питания двигателя всегда одно и то же и достаточно было бы одиночного эмиттерного повторителя, который обеспечивал бы вытекающий ток. Но на самом деле с использованием двухтактного эмиттерного повторителя улучшается поведение системы во время переходных процессов (при пуске двигателя или при резких колебаниях нагрузки на валу)

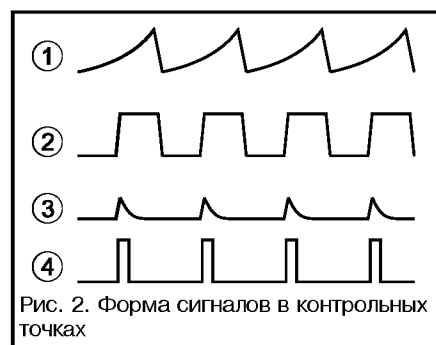


Рис. 2. Форма сигналов в контрольных точках

### Литература

1. З. Гасымов. Стабилизатор частоты вращения электродвигателя. – "Радио", №12/1987, с. 48.
2. В. Псурцев. Модернизация ЭПУ G-602. Радиоезежегодник, 1987 г., с. 132–140.

## Усилитель мощности с микроконтроллерной системой управления

*В предыдущих номерах журнала была описана конструкция предварительного усилителя с микроконтроллерной системой управления. В этой статье описывается конструкция усилителя мощности (УМ), который предназначен для совместного использования с указанным предварительным усилителем, хотя он может использоваться и с любым другим предварительным усилителем или даже без него. В последнем случае сигнал с линейного выхода лазерного проигрывателя можно подать на вход УМ через простейший регулятор громкости.*

Усилитель мощности является неотъемлемой частью любого звуковоспроизводящего комплекса и в то же время – наиболее простым его компонентом. Действительно, требования к УМ просты: плоская АЧХ в рабочем диапазоне частот, достаточная линейность, широкий динамический диапазон. Современный уровень развития схемотехники позволяет реализовать УМ с очень хорошими параметрами. Однако очень часто значение параметров УМ переоценивают. На практике два любых, правильно спроектированных УМ звучат совершенно одинаково. Если же какой-то УМ имеет специфичное, особенное звучание, это говорит лишь об одном: вносимые таким УМ искажения велики и хорошо заметны на слух. Единственный параметр, по которому отличаются современные УМ, – это выходная мощность. И этот параметр как раз порой недооценивается. Считается, что для домашнего использования достаточна мощность 20–35 Вт, тем более, если доверять рекламе, большинство УМ такому условию удовлетворяют. Если речь идет о средней мощности, то такое утверждение справедливо. Но реальный музыкальный сигнал имеет пики, превышающие средний уровень мощности в 10–20 раз. Поэтому, чтобы при средней мощности 20 Вт получить неискаженное воспроизведение пиков сигнала, необходимо иметь мощность УМ порядка 200 Вт. И еще. Акустические системы имеют сложный характер полного сопротивления. Оно зависит от частоты и на некоторых частотах может быть меньше номинального значения в 3–4 раза. УМ должен иметь возможность работать без искажений на такую низкоомную нагрузку. Например, если номинальное сопротивление акустической системы составляет 4 Ом, то УМ должен нормально работать на нагрузку сопротивлением 1 Ом. Это требует очень больших выходных токов. Тут следует заметить, что приведенное утверждение об одинаковости звучания разных УМ справедливо лишь при небольшой выходной мощности. В то же время большинство распространенных УМ промышленного изготовления не обеспечивают неискаженную передачу пиков сигнала даже при уровне комнатного прослушивания. Дорогие высококачественные УМ зачастую спроектированы

очень неграмотно, их вычурная схемотехника приводит к неудовлетворительной линейности. Таким образом, для высококачественного звуковоспроизведения УМ должен быть достаточно мощным и иметь возможность работать на низкоомную нагрузку. Как уже говорилось ранее, современный уровень развития схемотехники позволяет реализовать УМ с достаточно высокими параметрами для того, чтобы он не являлся доминирующим источником нелинейности во всем диапазоне выходных мощностей. В 1989 г. Николаем Суховым была предложена схема УМ высокой верности [1], который имел достаточные параметры. С тех пор ничего принципиально лучшего создано не было, так как дальнейшее улучшение характеристик никаких преимуществ уже не дает. Последующее усовершенствование УМ может идти лишь по пути увеличения выходной мощности, повышения технологичности конструкции, удешевления, улучшения потребительских качеств. В данной статье основное внимание будет уделено системе управления. Основные принципы построения УМ высокой верности изложены в [2].

Внешний вид передней панели усилителя показан на рис. 1. Усилитель выполнен в корпусе формата Midi. его габаритные размеры 348x180x270 мм, вес – около 20 кг. Встроенный микроконтроллер позволяет управлять усилителем с помощью ИК пульта ДУ (общего с предварительным усилителем). Кроме того, микроконтроллер осуществляет измерение и индикацию выходной мощности, температуры радиаторов, реализует отключение по таймеру и обрабатывает аварийные ситуации. Усилитель имеет отдельный дежурный источник питания, что позволяет ему находиться в режиме

“Standby”, когда основные источники питания выключены. На задней панели усилителя установлены розетки, предназначенные для подключения других компонентов комплекса. Эти розетки имеют независимое отключение, что позволяет с пульта ДУ обесточить весь комплекс.

Кнопка “Power” на передней панели усилителя обеспечивает полное отключение от сети. Фактически эта кнопка отключает от сети только дежурный источник питания. Основные источники питания включаются с помощью реле, обмотки которых питаются от дежурного источника. Поэтому при отключенной кнопке “Power” гарантированно обесточены все схемы усилителя.

При нажатии кнопки “Power” усилитель включается. Процесс включения происходит следующим образом. Сразу включается дежурный источник, о чем свидетельствует светодиод “Duty”. Спустя некоторое время, необходимое для сброса микроконтроллера, включается питание на внешние розетки и зажигается светодиод “Ext”. Затем зажигается светодиод “Main”, и происходит первый этап включения основных источников. Основные трансформаторы включаются через ограничительные резисторы, которые предотвращают начальный бросок тока из-за разряженных конденсаторов фильтра. Конденсаторы постепенно заряжаются, и когда измеренное напряжение питания достигнет установленного порога, ограничительные резисторы исключаются из цепи. При этом зажигается светодиод “Operate”. Если за отведенное время напряжение питания не достигло установленного порога, процесс включения усилителя прерывается и включается индикация аварии. Если включение основных источников прошло успешно, то микроконтроллер проверяет состояние системы защиты. В случае отсутствия аварийных ситуаций, микроконтроллер разрешает включение реле нагрузки и зажигает светодиод “Load”.

Кнопка “Standby” осуществляет управление дежурным режимом. Короткое нажатие кнопки переводит усилитель в дежурный режим или, наоборот, включает усилитель. На практике может понадобиться включить внешние розетки, оставив УМ в дежурном режиме. Это требуется, например, при прослушивании фонограмм на стереотелефоны или при перезаписи без звукового контроля. Внешние розетки

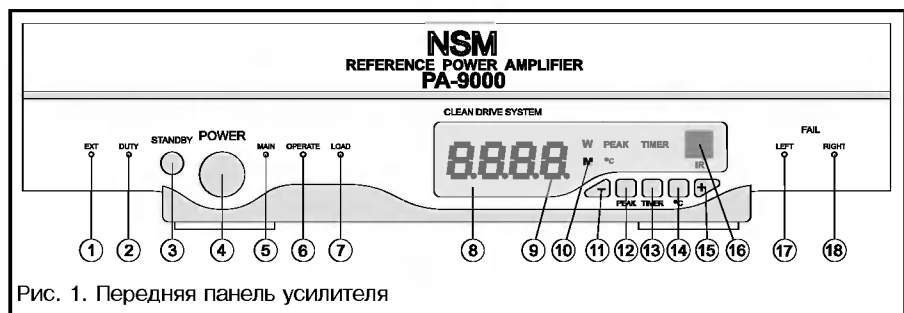


Рис. 1. Передняя панель усилителя

можно независимо включать-выключать длинным (до звукового сигнала) нажатием кнопки "Standby". Вариант, когда УМ включен, а розетки выключены, смысла не имеет, поэтому не реализуется.

На передней панели размещен 4-разрядный дисплей и 5 кнопок управления отображением. Дисплей может работать в следующих режимах (рис. 2а):

- отключен;
- индикация средней выходной мощности;
- индикация квазипиковой выходной мощности;
- индикация состояния таймера;
- индикация температуры радиаторов.

Сразу после включения УМ дисплей отключен. Включить дисплей можно нажатием одной из кнопок: "Peak", "Timer" или "C" – на передней панели.

Кнопка "Peak" включает отображение выходной мощности и переключает режим средняя/квазипиковая мощность. В режиме индикации выходной мощности на дисплее загорается "W", а для квазипиковой мощности – еще и "Peak". Выходная мощность индицируется в ваттах с дискретностью 0,1 Вт. Измерение производится методом перемножения тока и напряжения на нагрузке, поэтому показания действительны для любого допустимого значения сопротивления нагрузки. Удержание кнопки "Peak" до звукового сигнала выключает дисплей.

Кнопка "Timer" выводит на дисплей текущее состояние таймера, при этом загорается буква "M". Таймер позволяет задавать интервал времени, по истечении которого усилитель переходит в дежурный режим и внешние розетки отключаются. Нужно отметить, что при использовании этой функции другие компоненты комплекса должны допускать отключение питания "на ходу". Для тюнера и CD-плеера это всегда допустимо, а вот у некоторых кассетных дек при отключении питания ЛПМ может не переходить в режим "Стоп". Для таких дек отключение питания во время воспроизведения или записи недопустимо. Однако такие деки встречаются крайне редко. Таймер может быть запрограммирован на следующие интервалы (рис. 2б): 5, 15, 30, 45, 60, 90 и 120 минут. Если таймер не используется, его можно перевести в состояние "Off". Задание интервала таймера осуществляется кнопками "+" и "-" в режиме индикации таймера. Если таймер был запущен, то на дисплее всегда горит "Timer" и включение индикации таймера показывает текущее состояние, т.е. сколько минут осталось до выключения. В такой ситуации интервал можно продлить нажатием кнопки "+".

Кнопка "C" включает отображение температуры радиаторов, при этом загорается символ "C". На каждом радиаторе установлен отдельный термометр, но на дисплей выводится максимальное значение температуры. Эти же термометры используются для управления вентилятором и для температурной защиты выходных транзисторов усилителя.

На передней панели расположены два

светодиода для индикации аварии: "Fail Left" и "Fail Right". При срабатывании защиты в одном из каналов УМ загорается соответствующий светодиод, а на дисплее индицируется буквенное наименование сработавшей защиты (рис. 2в). При этом усилитель переходит в дежурный режим. В усилителе реализованы следующие виды защит:

- от перегрузки по току выходного каскада УМ;
- от постоянной составляющей на выходе УМ;
- от аварии источника питания;
- от пропадания сетевого напряжения;
- от перегрева выходных транзисторов.

Защита от перегрузки по току реагирует на превышение током выходного каскада заданного порога. Спасает она не только АС, но и выходные транзисторы, например, при коротком замыкании на выходе усилителя. Эта защита триггерного типа, после ее срабатывания нормальная работа УМ восстанавливается лишь после его повторного включения. Так как от этой защиты требуется высокое быстродействие, она реализована аппаратно. На дисплее индицируется как "IF".

Защита от постоянной составляющей на выходе УМ реагирует на постоянную составляющую выходного напряжения УМ, превышающую примерно 2 В. Она защищает АС, реализована также аппаратно. На дисплее индицируется как "dcF".

Защита от аварии источника питания реагирует на падение напряжения питания любого плеча ниже заданного уровня. Существенное нарушение симметрии питающих напряжений может вызвать появление на выходе УМ постоянной составляющей, что опасно для АС. На дисплее индицируется как "UF".

Защита от пропадания сетевого напряжения реагирует на выпадение нескольких периодов сетевого напряжения подряд. Предназначение этой защиты – отключить нагрузку до того, как напряжение питания упадет и начнется

переходный процесс. Реализована аппаратно, микроконтроллер лишь считывает ее состояние. На дисплее индицируется как "prF".

Защита от перегрева выходных транзисторов реализована программно, она использует информацию с термометров, которые установлены на радиаторах. На дисплее индицируется как "tF".

Пульт ДУ [3] имеет три кнопки, предназначенные для управления УМ. Кнопка "Standby" на пульте полностью дублирует аналогичную кнопку на панели. Кнопка "Display" позволяет переключать режим дисплея по кольцу (рис. 2а). Удержание кнопки "Display" до звукового сигнала выключает дисплей. Кнопка "Mode" позволяет менять временной интервал таймера (рис. 2б), т.е. заменяет кнопки "+" и "-".

За основу описываемого усилителя взята схема УМ высокой верности Николая Сухова [1]. Принципиальная схема основной платы усилителя приведена на рис. 3. По сравнению с оригинальной конструкцией в усилитель были внесены небольшие изменения. Изменена схема стабилизации тока покоя. В оригинальной конструкции вместе с выходными транзисторами на радиаторах был установлен транзистор – датчик температуры, который задавал напряжение смещения выходного каскада. При этом учитывалась температура только выходных транзисторов. Но температура предоконечных транзисторов, ввиду довольно большой рассеиваемой на них мощности, также значительно повышалась во время работы. Да и любой другой элемент УМ может довольно сильно нагреваться во время работы, так как в одном корпусе с компонентами находятся все источники тепла (радиаторы выходных транзисторов, трансформаторы и т.д.). В результате ток покоя мог возрасти в несколько раз при нагреве УМ. Решение этой проблемы было предложено Алексеем Беловым [4]. Обычно для температурной стабилизации тока покоя выходного каскада УМ используют следующую схему (рис. 4а). Напряжение

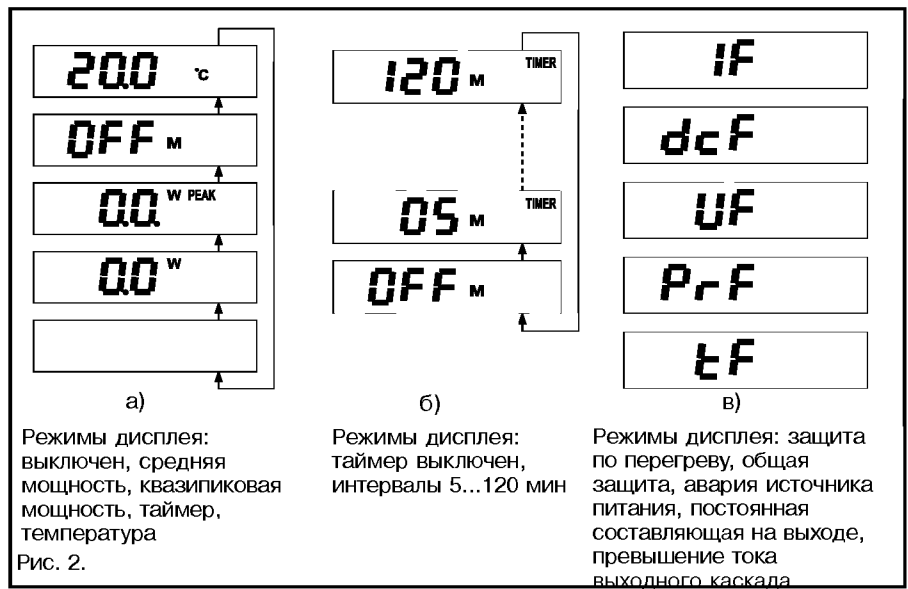


Рис. 2.

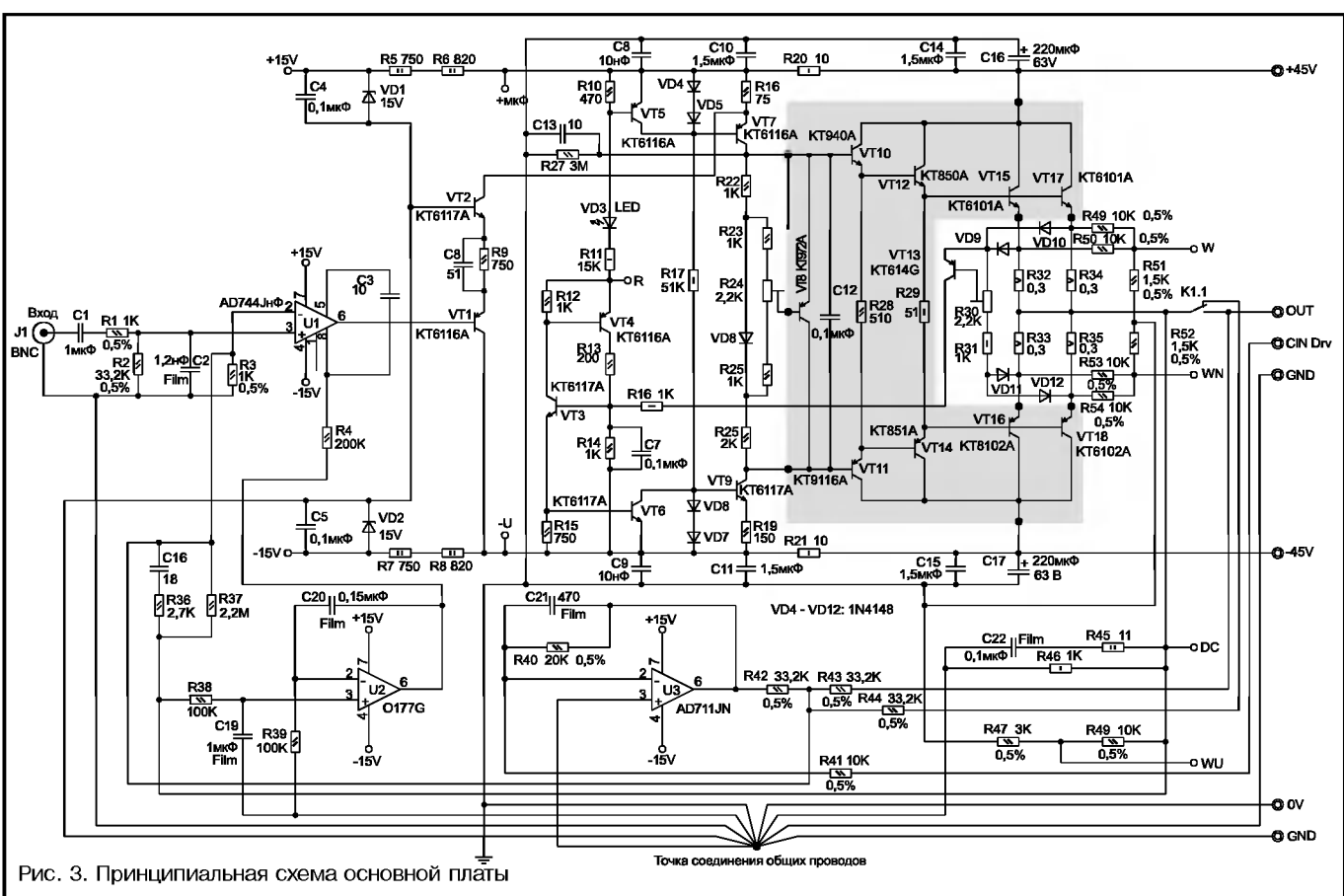


Рис. 3. Принципиальная схема основной платы

смещения прикладывается к точкам А и В. Оно выделяется на двухполюснике, который состоит из транзистора VT1 и резисторов R1, R2. Начальное напряжение смещения устанавливают резистором R2. Транзистор VT1 обычно закрепляют на общем с VT6, VT7 радиаторе. Стабилизация осуществляется следующим образом. При нагревании транзисторов VT6, VT7 уменьшается падение напряжения на переходе база-эмиттер, что при фиксированном напряжении смещения приводит к увеличению тока покоя. Но вместе с этими транзисторами нагревается и VT1, что вызывает уменьшение падения напряжения на двухполюснике, т. е. уменьшение тока покоя. Недостатком такой схемы является то, что температура переходов остальных транзисторов, входящих в составной эмиттерный повторитель, не учитывается. Чтобы ее учесть, температура переходов всех транзисторов должна быть известной. Проще всего сделать ее одинаковой. Для этого достаточно все транзисторы, входящие в составной эмиттерный повторитель, установить на общий радиатор. При этом для получения тока покоя, не зависящего от температуры, напряжение смещения составного эмиттерного повторителя должно иметь температурный коэффициент такой же, как у шести включенных последовательно р-п-переходов. Приближенно можно считать, что прямое падение напряжения на р-п-переходе линейно уменьшается с коэффициентом К, равным приблизительно 2,3 мВ/°С. У составного эмиттерного повторителя этот коэффи-

циент равен 6 К. Обеспечить такой температурный коэффициент напряжения смещения – задача двухполюсника, который включается между точками А и В. Двухполюсник, показанный на рис. 4а, имеет температурный коэффициент, равный  $(1 + R2/R1)K$ . При регулировке тока покоя резистором R2 меняется и температурный коэффициент, что не совсем правильно. Простейшим практическим решением может служить схема, показанная на рис. 4б. В этой схеме температурный коэффициент равен  $(1 + R3/R1)K$ , а начальный ток покоя задается положением движка резистора R2. Падение напряжения на резисторе R2, который зашунтирован диодом, можно считать практически постоянным. Поэтому регулировка начального тока покоя не влияет на температурный коэффициент. С такой схемой при нагреве УМЗЧ ток покоя изменяется не более чем на 10–20%. Для того чтобы все транзисторы составного эмиттерного повторителя можно было разместить на общем радиаторе, они должны иметь корпуса, для этого приспособленные (транзисторы в корпусах ТО-92 не подходят). Поэтому в УМ применены другие типы транзисторов, более современные.

Выходные транзисторы заменены на KT8101A, KT8102A, которые имеют более высокую граничную частоту коэффициента передачи тока. У мощных транзисторов довольно ярко выражен эффект падения коэффициента передачи тока при росте тока коллектора. Этот эффект является крайне нежелательным для УМ, так

как ему приходится работать при больших выходных токах. Для уменьшения влияния этого эффекта в выходном каскаде применено параллельное включение двух транзисторов (и это минимум, который можно себе позволить).

Для нормальной работы защиты от перегрузок по току добавлена схема выделения максимального значения напряжения на диодах VD9–VD12 (рис. 3), так как теперь приходится снимать падение не с двух, а с четырех эмиттерных резисторов.

Другие транзисторы составного эмиттерного повторителя – KT850A, KT851A (корпус ТО-220) и KT940A, KT915A (корпус ТО-126). В схеме стабилизации тока покоя использован составной транзистор KT973A.

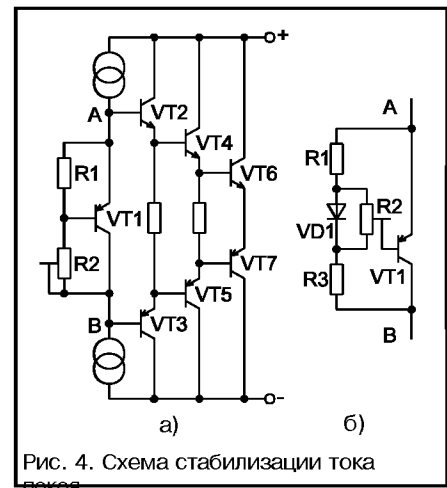


Рис. 4. Схема стабилизации тока покоя

Произведена и замена ОУ на более современные. Основной ОУ U1 заменен на AD744, который обладает повышенным быстродействием и хорошей линейностью. ОУ U2, который работает в схеме поддержания нулевого потенциала на выходе УМЗЧ, заменен на OP177, обладающий низким смещением нуля (не более 15 мкВ). Это позволило отказаться от подстроечного резистора регулировки смещения. Нужно отметить, что из-за особенностей схемотехники AD744 ОУ U2 должен обеспечивать выходное напряжение, близкое к напряжению питания. Поэтому не все типы прецизионных ОУ подойдут. ОУ U3, который работает в схеме компенсации импеданса соединительных проводов АС, заменен на AD711. Параметры этого ОУ не столь критичны, поэтому был выбран дешевый ОУ с достаточным быстродействием и довольно низким смещением нуля. В результате этих замен понадобилось несколько скорректировать номиналы цепей частотной коррекции. Емкость конденсатора С13 уменьшена до 10 пФ. Параллельно этой емкости включена паразитная емкость [коллектор транзистора VT8] – [корпус]. Эта емкость зависит от примененной изолирующей прокладки и может быть соизмеримой с С13. Поэтому рекомендуется использовать для VT8 толстую керамическую прокладку.

В схему добавлены резисторные делители R49–R51, R52–R54 и R47, R48, которые служат для снятия сигналов тока и

напряжения для схемы измерения мощности.

Изменена реализация земляных цепей. Поскольку теперь каждый канал усилителя полностью собран на одной плате, отпала необходимость во множественных земляных проводах, которые должны соединяться в одной точке на шасси. Специальная топология печатной платы обеспечивает звездообразную разводку земляных цепей. Звезда земли соединяется одним проводником с общим выводом источника питания. Нужно заметить, что такая топология годится лишь при полностью отдельных источниках питания левого и правого каналов.

В оригинальной схеме усилителя петля обратной связи по переменному току охватывает и контакты реле, которые подключают нагрузку. Эта мера принята для уменьшения влияния нелинейности контактов реле. Однако при этом возможны проблемы с работой защиты по постоянной составляющей. Дело в том, что при включении усилителя питание подается

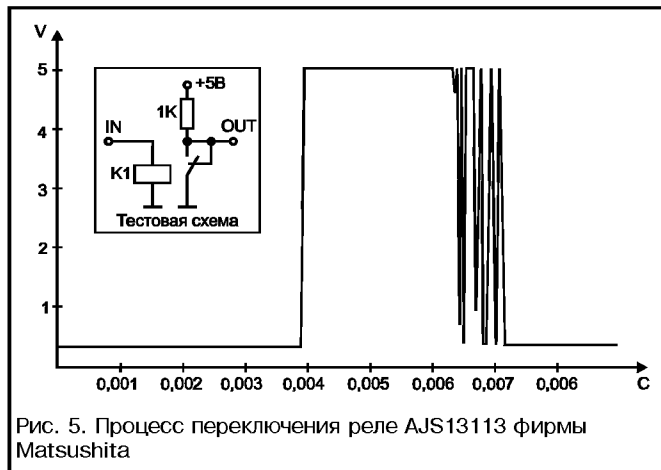


Рис. 5. Процесс переключения реле AJS13113 фирмы Matsushita

раньше, чем включается реле нагрузки. В это время на входе УМ может присутствовать сигнал, а коэффициент передачи усилителя, вследствие разорванной петли обратной связи, очень велик. В таком режиме УМ ограничивает сигнал, а схема компенсации напряжения смещения неспособна поддержать на выходе УМ нулевое значение постоянной составляющей. Поэтому еще до подключения нагрузки обнаруживается, что на выходе УМ присутствует постоянная составляющая, и срабатывает система защиты. Устранить этот эффект очень просто, если использовать реле с переключающими контактами. Нормально-замкнутые контакты должны замыкать петлю ООС точно так же, как и нормально-разомкнутые. При этом при срабатывании реле обратная связь остается разорванной только на очень короткое время (рис. 5), в течение которого защита сработать не успеет.

**Леонид Ридико,**  
wubblick@yahoo.com

*Продолжение следует*

# Аппаратура уличного музыканта

Вниманию читателей предлагается аппаратура, предназначенная для уличных музыкантов. Она представляет собой усилитель, микшер и ревербератор, а также ряд вспомогательных узлов, необходимых для удобства и обеспечения нормальной работы устройства.

Конструкция собрана в корпусе из-под автомобильной акустической системы MarQuant, в которой установлено две двенадцатидюймовых динамических головки, хорошо излучающих как низкочастотный диапазон начиная с 80 Гц, так и среднечастотный диапазон вплоть до 12 кГц. Кроме того, в акустической системе имеется два трехдюймовых излучателя, работающих в высокочастотной области и два пьезоизлучателя, которые вносят незначительный вклад в общую звуковую картину. Аппаратура имеет автономное питание, однако при необходимости может работать от сети. Выходная мощность усилителя (синусоидальная) составляет 2х25 Вт (импульсная – 2х50 Вт) при сопротивлении нагрузки 8 Ом, что при довольно высокой отдаче динамических головок (около 90 дБ) позволяет озвучить значительный объем открытого пространства.

Автор начал разрабатывать и собирать эту конструкцию, потому что не сумел найти в продаже готовых устройств такого рода. К сожалению, так называемые "комбики" и другие изделия, предлагаемые различными отечествен-

ными и зарубежными производителями, не имеют автономного питания и для применения в уличных условиях нуждаются в переделке. К тому же многие из них потребляют значительный ток, что весьма нежелательно.

Предлагаемое в данной статье устройство имеет несколько входов: микрофонный с чувствительностью 2 мВ, гитарный с чувствительностью 200 мВ. Предусмотрена независимая регулировка сигнала с каждого из этих входов. Кроме того, имеется один нерегулируемый двухканальный (стереофонический) синтезаторный вход с чувствительностью 500 мВ, предназначенный для подключения клавишного инструмента, имеющего свою регулировку уровня сигнала. Ревербератор имеет регулировку глубины эффекта (уровень задержанного сигнала в выходном), длительности реверберации (количество повторений) и переключатель времени задержки на два положения: больше и меньше. Уровень выходного сигнала, то есть громкости, регулируется "мастер-регулятором". Вообще, автор исходил из

желания минимизировать количество ручек регулирования, оставив лишь самые необходимые, поскольку большое количество регулировок затрудняет выбор оптимального решения и создает дискомфорт для музыканта. Для контроля уровня сигнала предусмотрен стрелочный индикатор, позволяющий выбрать необходимую амплитуду и исключить возможность перегрузки АЦП и усилителя мощности.

Несмотря на кажущуюся сложность, устройство доступно для повторения любому специалисту, имеющему опыт работы со звукоусилительной аппаратурой. Оно состоит из нескольких функциональных узлов, большинство из которых очень просты. Многие из этих узлов могут быть реализованы иными способами, если разработчик, повторяющий конструкцию, найдет их более приемлемыми. Кроме того, устройство является весьма гибким в конструктивном плане. Например, в нем можно легко изменить количество входов и их чувствительность, добавить дополнительные регуляторы, увеличить выходную мощность усилителя.

Функциональная схема устройства показана на рис. 1. Его линейный тракт является двухканальным. Входные усилители (Вх. ус.) поднимают уровень сигнала с микрофонного и гитарного входов до 200 мВ. Линейный и синтезаторный входы не нуждаются в предварительном усилении и сигналы с них подаются непосредственно на входные смесители (Вх. смес.). С их выхода сигнал поступает на узлы статической эквализации (Стат. эквал.), предназначенные для

Блок - схема устройства.

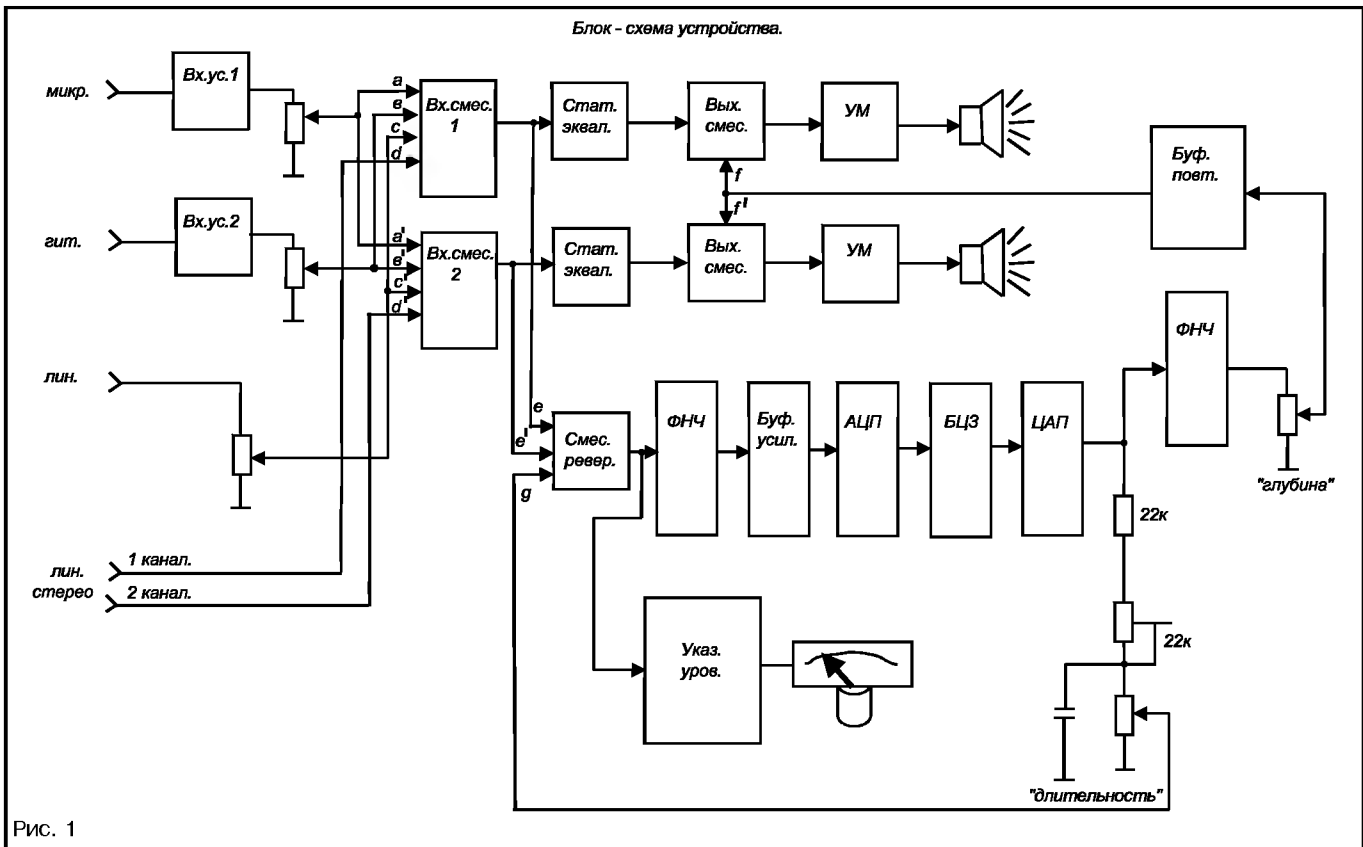
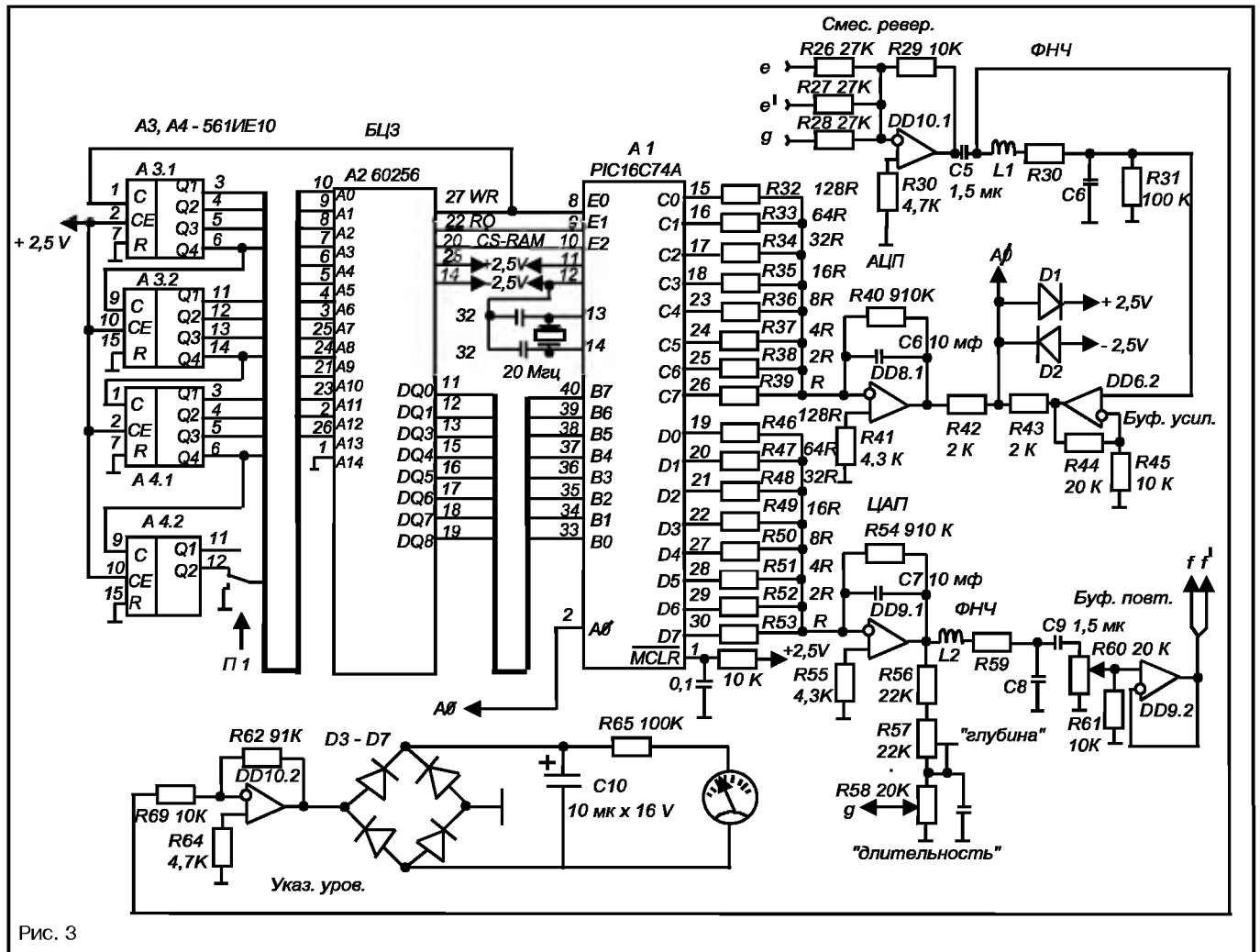
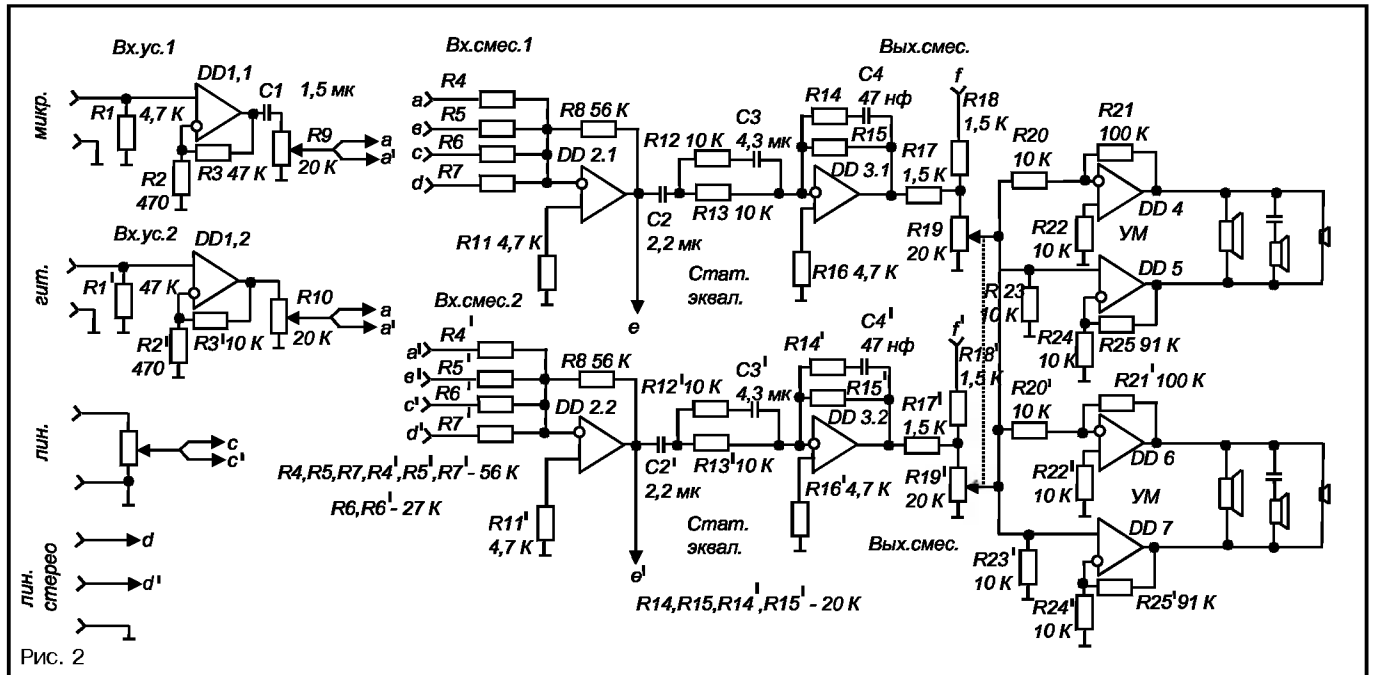


Рис. 1

корректировки амплитудно-частотной характеристики, а также на смеситель ревербератора (Смес. ревер.). С выхода смесителя ревербератора сигнал подается на фильтр низких частот (ФНЧ), далее на буферный усилитель (Буф. усил.) и затем на аналого-цифровой

преобразователь (АЦП). Оцифрованный сигнал проходит через цифровую линию задержки (ЛЦЗ), а затем поступает на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), где снова превращается в аналоговый сигнал. Этот сигнал проходит через второй ФНЧ и подается на

регулятор "УРОВЕНЬ", а после него через буферный повторитель (Буф. повт.) поступает на выходные смесители (Вых. смес.). Кроме того, часть сигнала с выхода ЦАП подается через резистивный делитель и регулятор "ДЛИТЕЛЬНОСТЬ" обратно на смеситель ревербератора,



обеспечивая возможность многократного затухающего повторения. На выходные смесители подается также сигнал со статических эквалайзеров, а затем суммированный сигнал через “мастер-регулятор” поступает на усилители мощности (УМ). Нагрузкой усилителей мощности являются динамические головки автомобильной акустической системы сопротивлением 8 Ом.

Принципиальная электрическая схема устройства изображена на рис. 2 и 3. Входные усилители собраны на операционных усилителях (ОУ) DA1.1 и DA2.2 по схеме неинвертирующего усилителя. Сигнал с микрофонного входа усиливается в 100 раз, сигнал с гитарного входа – в 10 раз.

Входные смесители собраны по схеме инвертирующего усилителя-сумматора на ОУ DA2.1 и DA2.2. Коэффициенты усиления сигнала с каждого входа определяются соотношением резисторов  $R3(R3')/R2(R2')$ , их можно изменять в соответствии с уровнем сигнала источника.

Узел статической эквализации выполнен на ОУ DA3. Его коэффициент усиления на средних частотах равен единице, а на частотах выше 4 кГц и ниже 200 Гц увеличивается в два раза. Изменением номиналов пассивных элементов возможно немного изменить АЧХ каскадов, однако слишком увлекаться этим не следует, поскольку за простоту схемы приходится платить влиянием одних и тех же элементов на различные параметры схемы.

Выходные смесители являются самыми простыми узлами устройства. Они собраны на трех сопротивлениях: R17, R18, R19 и R17', R18', R19', одно из которых переменное и является мастер-регулятором.

Усилитель мощности выполнен на мощных операционных усилителях DA4–DA7 по мостовой схеме, что позволяет с большей эффективностью использовать напряжение источника питания. При питающем напряжении  $\pm 12,5$  В на нагрузке 8 Ом выходное напряжение достигает  $\pm 20$  В (амплитудное значение). С выхода усилителя мощности сигнал подается на динамические головки акустической системы.

Смеситель ревербератора собран на операционном усилителе DA10.1. На него подаются сигналы с выходов обоих каналов входных смесителей, а также ослабленный резистивным делителем сигнал с выхода АЦП. Далее следует фильтр низких частот на элементах L1, R3, C6. Частота среза фильтра – 8 кГц.

Указатель уровня сигнала выполнен на ОУ DA10.2. Усиленный и выпрямленный сигнал сглаживается конденсатором C10 и подается через резистор R65 на стрелочный индикатор с током полного отклонения 75–100 мкА.

С выхода буферного усилителя, обеспечивающего согласование выходного сопротивления фильтра и входного сопротивления АЦП, собранного на ОУ

DA8.2, сигнал подается на аналого-цифровой преобразователь. АЦП представляет собой линейный восьмиразрядный дельта-модулятор. Он выполнен на микроконтроллере DD1 и ОУ DA8.1. Разность входного и преобразованного сигналов через резисторы R42, R43 подается на аналоговый вход микроконтроллера, в котором через каждый промежуток времени, равный тактовой частоте АЦП, вырабатывается восьмиразрядный двоичный код сигнала ошибки и подается через резисторы R32–R39 на интегратор, собранный на ОУ DA8.1 и являющийся по сути цифро-аналоговым преобразователем. Восстановленный и инвертированный сигнал с выхода ОУ DA8.1 складывается с входным и подается на аналоговый вход микроконтроллера, обеспечивая обратную связь. Таким образом в АЦП происходит динамическое поддержание нулевого уровня на аналоговом входе микроконтроллера, что обеспечивает равенство входного и преобразованного сигнала. Диоды VD1 и VD2 служат для защиты аналогового входа микроконтроллера от превышения допустимых напряжений.

Блок цифровой задержки собран на стандартной микросхеме 60256, которая представляет собой статическое ОЗУ (DD2). Управление ею происходит с помощью сигналов CS\_RAM, WR, RD, вырабатываемых микроконтроллером. Для передачи данных используется порт “В” микроконтроллера. На принципиальной схеме последовательность соединения шины данных ОЗУ с портом “В” микроконтроллера не указана, поскольку эта последовательность не имеет значения. При соединении выводов следует руководствоваться только удобством монтажа. Для адресации памяти ОЗУ выводов микроконтроллера не хватает, поэтому используются дополнительные счетчики DD3 и DD4. На вход счетчика подается сигнал WR управления памятью, который через каждый промежуток времени, равный периоду тактовой частоты АЦП, изменяет состояние счетчика и, следовательно, адрес восьмиразрядной ячейки памяти, к которой обращается микроконтроллер. Порядок соединения адресных входов ОЗУ с выходами счетчика значения не имеет, и здесь также следует руководствоваться только соображениями удобства. Переключатель S1 служит для изменения времени задержки вдвое посредством переключения одного из адресных входов микросхемы памяти со старшего разряда делителя на цифровую землю.

Задержанный сигнал в виде восьмиразрядного двоичного кода подается на ЦАП, выполненный на ОУ DA9.1. Это устройство совершенно идентично восстановителю сигнала, используемому в АЦП. С выхода ЦАП сигнал подается в петлю обратной связи ревербератора и на ФНЧ, выполненный на элементах L2, R59, C8, настроенный на частоту 8 кГц. Затем через буферный повторитель на ОУ

DD9.2 сигнал подается на выходной смеситель и далее на усилитель мощности.

Все ОУ, применяемые в устройстве – сдвоенные, производства фирмы Burr Brown. Однако никаких специальных требований к ним не предъявляется, поэтому вместо них можно применить другие сдвоенные или одинарные ОУ. Исключением является ОУ DA1. Вследствие относительно большого усиления микрофонного сигнала ОУ DD1 должен обладать высоким быстродействием и широкой полосой пропускания (по крайней мере несколько мегагерц). При выборе ОУ следует особое внимание обращать на потребляемый ток, который должен быть небольшим.

Что касается четырех мощных ОУ, примененных в усилителе мощности, то их выбор кажется автору оптимальным. Они имеют небольшой ток покоя (около 15 мА) и максимальный выходной ток 5 А, после чего срабатывает внутрисхемная защита и наступает ограничение тока. Нелинейные искажения порядка десятых долей процента незаметны на слух. Конечно, возможно применение и других мощных ОУ или интегральных усилителей мощности. При выборе ОУ следует обращать внимание на ток покоя (он не должен быть слишком большим), максимальный выходной ток (он должен быть не менее 3 А), и падение напряжения на ОУ при выходном токе, близком к максимальному (оно должно быть как можно меньшим). В любом случае видится целесообразным сохранение мостовой схемы для более эффективного использования напряжения источника питания.

Микросхема ОЗУ 60256 может быть заменена любой аналогичной, например 62256.

Адресные счетчики – любые КМОП микросхемы (с целью меньшего энергопотребления), включенные последовательно таким образом, чтобы обеспечить 14 разрядов деления.

Тщательного подбора требуют резисторы R32–R39, R46–R53. Сопротивление каждого последующего резистора должно быть в два раза больше предыдущего в соответствии с весом разряда преобразования, как это показано на принципиальной схеме. Причем сопротивления старших разрядов (эти сопротивления меньше по своей величине) должны быть подобраны с большей точностью. Автор предлагает линейку сопротивлений, полагая сопротивление самого старшего (то есть восьмого) разряда  $R = 7,5$  кОм. Это сопротивление является наименьшим по величине. В таблице 1 приведены значения сопротивлений с указанием точности, с которой их необходимо отобрать.

Чем выше точность отбора сопротивлений, тем лучше качество преобразования сигнала. При отборе сопротивлений следует иметь в виду, что важным является равенство по величине соответствующих резисторов в АЦП и ЦАП, т. е. R32 и R46, R33 и R47 и т. д. Конечно, для обеспечения лучшей точности можно

Таблица 1

R32, R46	R33, R47	R34, R48	R35, R49	R36, R50	R37, R51	R38, R52	R39, R53
R	2R	4R	8R	16R	32R	64R	128R
7,50 кОм	15,0 кОм	30,0 кОм	60,0 (57,4) кОм	120 кОм	240 кОм	470 кОм	1 МОм
0,02 кОм	$\pm 0,1$ кОм	$\pm 0,3$ кОм	$\pm 1,0$ кОм	$\pm 4$ кОм	$\pm 10$ кОм	0	$\pm 0/-40$ кОм

использовать, например, подстроечные сопротивления, включенные последовательно с постоянными чуть меньшей величины.

Уйти от проблемы подбора сопротивлений возможно только с применением интегральных ЦАП. Такое решение рассматривалось автором при разработке, однако не было реализовано. Применение интегральных ЦАП может потребовать дополнительных сигналов управления и, следовательно, изменения программы микроконтроллера.

Фильтры низких частот второго порядка, применяемые в устройстве, также требуют отдельного рассмотрения. Простота фильтров влечет за собой необходимость их специальной настройки. Для их изготовления необходимы индуктивности порядка 0,1 Г. Для их настройки следует собрать испытательную схему из трех деталей, показанную на рис. 4, подать на вход схемы сигнал с генератора низкой частоты, а выход

соединить с входом осциллографа. Затем следует настроить АЧХ устройства. Подбором конденсатора (порядок величины его емкости 0,01 мкФ) настраивается частота среза фильтра около 8 кГц, а подбором сопротивления (порядок его величины 1 кОм) – ровная АЧХ в полосе пропускания. Процесс настройки фильтра не является сложной операцией и при наличии необходимых деталей и приборов занимает 15–20 минут. Конечно, можно использовать активные фильтры на операционных усилителях, но это требует дополнительных микросхем ОУ и применение значительно большего числа деталей. В крайнем случае можно использовать в качестве ФНЧ простую RC-цепочку.

Подстроечным резистором R\*\* настраивается уровень сигнала в петле обратной связи ревербератора. При максимальном положении движка переменного резистора «длительность» величина резистора R\*\* уменьшается до возникновения релаксационных колебаний, а затем плавно уменьшается до их пропадания. При этом должно прослушиваться около десяти затухающих повторений.

Настройка индикатора производится при подключенном к выходу усилителя мощности имитаторе нагрузки сопротив-

лением 8 Ом. На любой вход устройства подается синусоидальный сигнал такой амплитуды, чтобы наступило ограничение сигнала усилителем мощности и подбирается сопротивление R65 таким образом, чтобы начало ограничения соответствовало полному отклонению стрелки индикатора.

Остальные узлы схемы в налаживании не нуждаются и при отсутствии ошибок в монтаже начинают работать сразу после включения питания.

Блок питания устройства показан на рис. 5. Основными элементами питания являются два последовательно включенных NiCa аккумулятора емкостью 4,5 А/ч. Такой емкости хватает на 5–8 часов непрерывной работы. Скорость разряда аккумуляторов в значительной степени зависит от громкости звучания, поскольку усилители мощности являются основными потребителями энергии. В настоящее время имеется широкий выбор аккумуляторов различной емкости, которые можно применить в данной конструкции. Однако чтобы время работы устройства в автономном режиме не было слишком малым, желательно, чтобы емкость аккумуляторов была не менее 2,5 А/ч.

Разряд аккумуляторов фиксируется по мерцанию светодиода на больших уровнях искажений. Для их заряда используется сетевой нестабилизированный источник напряжения, собранный в корпусе устройства. Выпрямленное напряжение на

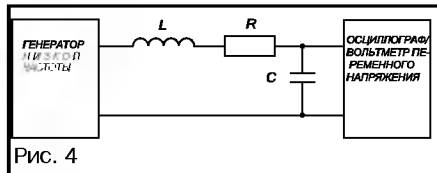


Рис. 4

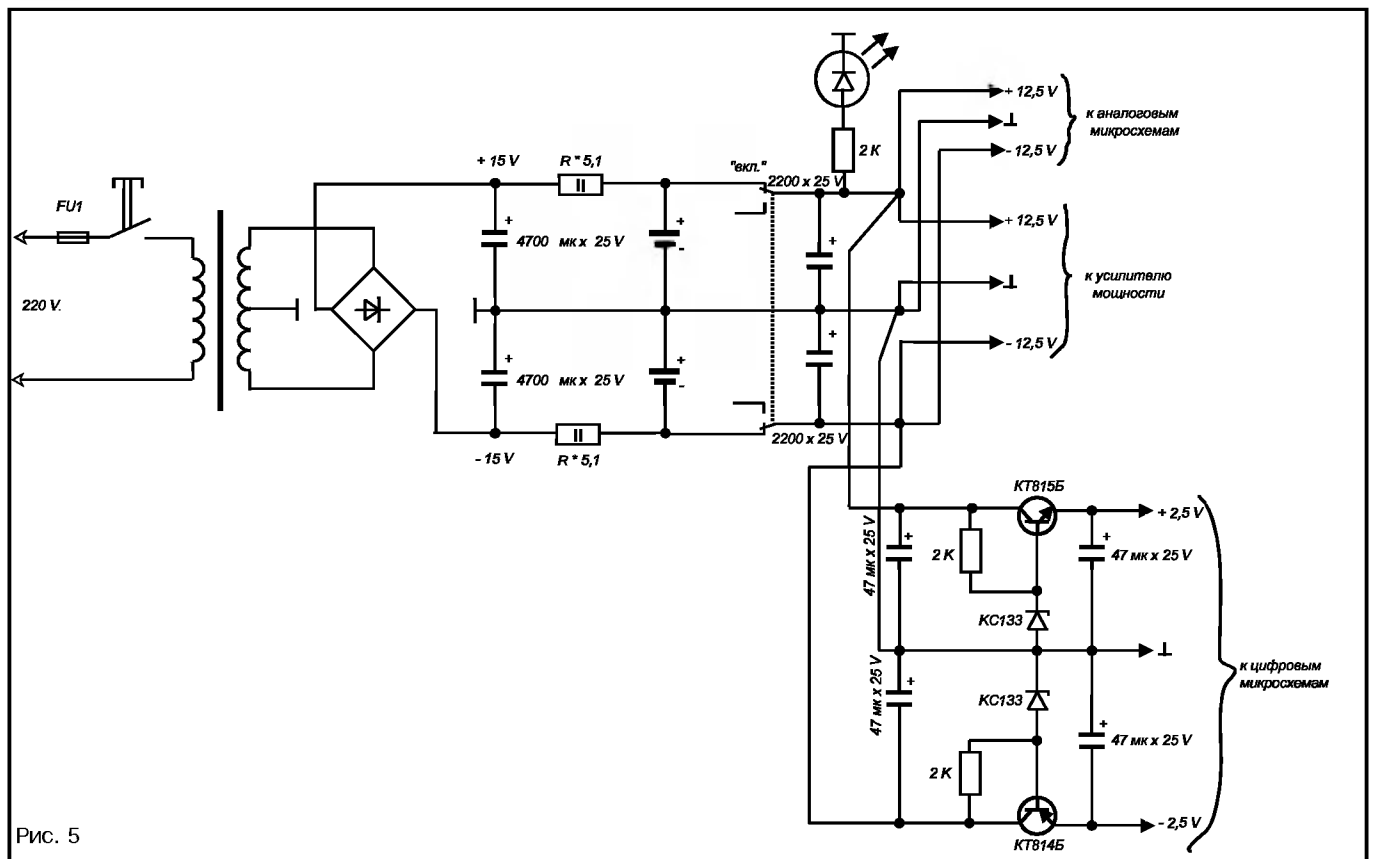
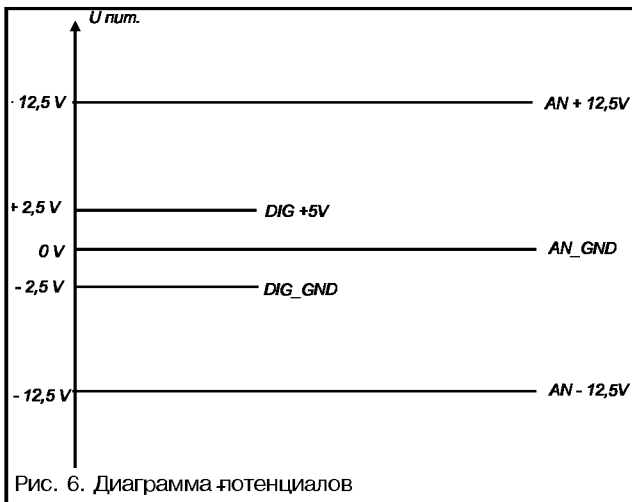


Рис. 5



сглаживающих конденсаторах должно быть в пределах 15–20 В. Сопротивления, через которые происходит заряд аккумуляторов, подбираются такими, чтобы ток заряда составлял приблизительно 0,5 А, а их мощность должна составлять несколько Вт. Время заряда аккумуляторов – 10 часов.

Если выпрямленное напряжение сетевого источника не превышает предельно допустимого напряжения операционных усилителей, то его можно использовать для питания схемы в неавтономном режиме (например, в квартире). Схему коммутации цепей питания при этом придется доработать, добавив еще один или два тумблера.

Особенностью данного блока питания

является то, что “цифровой” источник питания “подвешен” симметрично относительно аналоговой “земли”, как показано на диаграмме потенциалов. Это позволяет с большей эффективностью использовать диапазон питающих напряжений при аналого-цифровом и цифро-аналогом преобразовании.

Очень большое значение имеет порядок включения “земли” и питающих цепей. Чтобы избавиться от влияния сильноточных цепей на слаботочные,

а также исключить воздействие цифровых помех на аналоговые цепи, необходимо сделать центральные точки заземления и питания, как показано на рис. 5. Эти точки должны располагаться вблизи электрических конденсаторов в цепях питания. В дополнение к этим конденсатором полезно включить керамические емкости величиной 0,1–1,0 мкФ. Керамические емкости величиной 0,1 мкФ. следует включить в цепь питания каждой цифровой микросхемы в непосредственной близости от нее, а также в цепях питания всех операционных усилителей. Для исключения влияния цифровых помех цифровая часть схемы не должна находиться слишком близко от аналоговой. Автор использовал единую плату для всей

схемы, однако находит целесообразным перенесение цифровой схемы на отдельную плату.

В процессе налаживания есть смысл экспериментально подобрать место соединения цифровой и аналоговой “земли” по минимуму цифровых шумов при максимальном положении ручек громкости (“мастер”) и глубины реверберации. Надо сказать, что восьмидесятипроцентное преобразование на частоте около 40 кГц, используемое в конструкции, не обеспечивает студийного качества и вносит некоторые искажения и шумы, которые, однако, маскируются основным сигналом и практически не заметны на слух. Если учесть, что аппаратура предназначена для уличных выступлений, то такое решение оказывается вполне оправданным.

Диаграмма потенциалов представлена на рис. 6.

Аппаратура эксплуатировалась с микрофоном, акустической гитарой со звукоснимателем и клавишным инструментом и продемонстрировала хорошие результаты.

**Андрей Пузанов,**  
shemotech@mtu-net.ru

# Микроконтроллеры? Это же просто!

*В процессе общения с авторами и подписчиками журнала мы столкнулись с тем, что многие из них хотели бы освоить работу с микроконтроллерами, но испытывают при этом дефицит литературы, рассчитанной на новичков, самостоятельно начинающих почти с нуля. Посмотрев с этой точки зрения на появившиеся в последние несколько лет посвященные микроконтроллерам книги, а также на публикации в журналах, автор настоящих строк понял, что практически все они направлены на тех, кто уже ориентируется в этой предметной области. Статей и книг, рассчитанных на новичков, и позволяющих им шаг за шагом освоить микроконтроллеры, не перегружая их головы раньше времени важными, но необходимыми в первый момент подробностями, увы, нет. Так родилась идея написать цикл статей для начинающих, знакомство с которым позволило бы им осознать, что такое микроконтроллеры, как они устроены, как функционируют, как писать, отлаживать и заносить в них программы, и т. д.*

**Н**есмотря на большой опыт на писания самых разнообразных статей, подобную задачу автор ставит перед собой впервые. Поэтому тех, кто попытается по подготовленным мной материалам пройти этот путь, я попрошу не стесняясь задавать вопросы, если что-то окажется непонятным или плохо изложенным – мой электронный адрес приведен ниже.

## Введение

Название настоящей статьи “слизано” из серии популярных в семидесятые годы книжек, посвященных радио и телевидению, и рассчитанных, также как и настоящий цикл статей, на начинающих. Любой, даже самый сложный вопрос, можно объяснить просто и доступно, и авторам тех книжек это вполне удалось. Постараюсь это сделать и я.

В качестве объекта изучения мы с вами выберем микроконтроллеры (МК) семейства x51. Предполагаю, что некоторые из тех, кто прочел эти строки, уже поморщились – зачем, дескать, писать об этом старье, сейчас есть много гораздо более интересных контроллеров. Да, есть. Но во-первых мне, автору, легче объяснять материал на основе того, что я знаю очень хорошо (AVR или PIC, к примеру, я знаю хуже). Во-вторых, все, кто разобрался хотя бы с одним контроллером, после этого всегда в состоянии самостоятельно разобраться с любым иным – было бы время и желание (или необходимость). В-третьих, с этими контроллерами по-прежнему работает не меньше разработчиков, чем с AVR или PIC-контроллерами, не говоря уже о любых других, а Atmel и Analog Devices в последнее время предоставили в наше с вами распоряжение еще более совершенные образцы контроллеров этого семейства. А в-четвертых, и это главное, те, кто поморщился – это люди, уже разбирающиеся в микроконтроллерах.

Господа разбирающиеся! Этот цикл статей не для вас! Здесь вы вряд ли найдете что-то новое для себя. Читать этот материал я вам рекомендую лишь в том случае, если вы замыслите написать подобные статьи по другим типам контроллеров. Тогда читайте то, что написано мной, фиксируйте, что изложено удачно, а что нет, и готовьте свои статьи с учетом возможных огрехов, увы, неизбежных в первой редакции такого материала. Ну а мы с теми, кто еще не разбирается в микроконтроллерах, потихоньку двинем дальше.

## Глава 1. Первое знакомство

### Память микроконтроллера

Первое, с чего стоит начать – это слов, что при всей кажущейся сложности ничего непостижимого в микроконтроллерах нет. МК представляют собой микросхемы, которые всего-навсего “от корки до корки” выполняют программы, занесенные в них программистами. Последние, зная, что из себя представляет микроконтроллер, а также то, как и какие команды он может выполнять, составили и отладили программы (последовательность этих самых команд), занесли их в микроконтроллеры, и при подаче питания МК выполняют все то, что было предусмотрено программистами.

Из сказанного выше вытекает ряд вопросов. Вопрос номер один – микроконтроллер может выполнять какие-то команды. Какие? Второй вопрос – программа пишется программистом и заносится в МК. Как? А заодно, где она там хранится?

Начнем с последнего. У большинства МК имеется **память программ**, представляющая из себя некоторое количество ячеек (от тысячи до десятка тысяч и более). Она находится внутри самой микросхемы (говорят – “на кристалле”). Каждая ячейка имеет свой порядковый номер, или, как говорят программисты,

адрес. В этих ячейках хранятся числа, могущие принимать значения от 0 до 255. Упомянутые числа и есть та самая программа, которую выполняет микроконтроллер, если мы подадим на него питание.

Удивлены? На самом деле все довольно просто, хотя на первый взгляд может показаться непривычным. Программа – это последовательность выполняемых микроконтроллером команд. Каждой команде в памяти программ соответствует свое число (корректнее сказать – код). При включении питания МК один за другим считывает эти коды, осуществляет их дешифрацию (другими словами, определяет, что же нужно сделать), а затем исполняет одну за другой эти дешифрованные команды. Кстати, отмечу, что в контроллерах семейства x51 первой выполняется команда, код которой расположен в самой первой ячейке памяти программ с адресом 0.

Главная особенность памяти программ – занесенные в нее коды сохраняются неизменными при отсутствии питания у микроконтроллера. Это, в общем, и очевидно – уж коль скоро мы написали и отладили программу, она не должна самопроизвольно изменяться с течением времени.

Память программ – это не единственный вид памяти, имеющийся внутри микроконтроллера. Любой МК имеет еще **память данных**. Ее принципиальное отличие от памяти программ состоит в том, что микроконтроллер может не только читать содержимое ее ячеек, но и определенными своими командами содержимое их изменять (записывать в них данные), в то время как менять содержимое памяти программ ему “не по зубам”. В силу описанной причины память данных еще иногда называют оперативной памятью (оперативным запоминающим устройством, или ОЗУ), в отличие от памяти программ, именуемой постоянным запоминающим устройством (ПЗУ).

Кроме того, стоит отметить, что занесенные в ОЗУ коды теряются (т. е. изменяются произвольным образом) при выключении питания.

Последний находящийся внутри МК вид памяти, без знакомства с которым мы не сможем двигаться дальше – это так называемая **регистровая память**, или регистры. Они представляют из себя ячейки оперативной памяти, обращение к которым контроллер осуществляет более короткими и быстровыполнимыми командами, чем упомянутому в предыдущем абзаце ОЗУ. В остальном же регистры и ячейки оперативной памяти идентичны – содержимое их теряется при выключении питания, и может быть считано или изменено при выполнении микроконтроллером некоторых из своих команд. Более подробно о регистрах (их названиях, адресах, командах обращения

к ним) мы будем говорить в одной из следующих глав.

Для пояснения всего сказанного приведу следующий пример. На рис. 1 показано содержимое последовательно расположенных восьми ячеек памяти программ микроконтроллера с занесен-

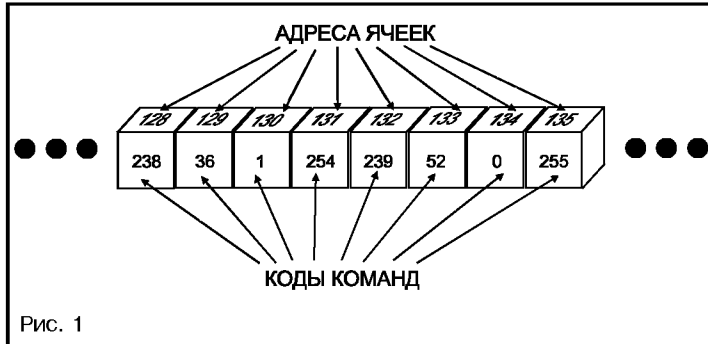


Рис. 1

ным в него куском пользовательской программы. На первый взгляд эта сущая бессмыслица. Но на самом деле это – вполне разумный фрагмент реальной программы. Код 238 предписывает микроконтроллеру перенести (говорят “прочитать”) число из регистра R6 в главный регистр МК, называемый аккумулятором. Код 36 предписывает контроллеру прибавить к содержимому аккумулятора число, размещенное в памяти программ непосредственно за этим кодом (т. е. в данном случае – единицу). Код 254 предписывает вернуть полученное в результате суммирования число из регистра-аккумулятора в регистр R6. Следующий код (239) вынуждает МК прочитать в аккумулятор число из регистра R7. Код 52 – прибавить к содержимому аккумулятора число, расположенное в программной памяти за этим кодом (т. е. 0), и еще так называемый бит переноса (для любопытных – бит переноса равен 1, если предыдущее суммирование дало результат больше или равный 256, и 0, если меньше; вспомните единичку, которая “идет на ум” при суммировании на бумажке “столбиком”, когда сумма оказывается больше 9. Бит переноса – это и есть та самая единичка). Последний код – 255 – предписывает вернуть число из аккумулятора в регистр R7.

Не будем обсуждать, зачем нужно выполнять указанную последовательность команд – поверьте на слово, иногда нужно. Смысл приведенного фрагмента – показать, что между числами в памяти программ и конкретными командами есть взаимно однозначное соответствие. Программы, которые пишутся пользователями, переводятся в коды при помощи важной и нужной программы, именуемой транслятором с языка ассемблера, или просто ассемблером (далее мы с ним обязательно познакомимся). После этого полученные коды заносятся в память программ микроконтроллера. Для этой цели служат специ-

ально выпускаемые рядом фирм устройства, именуемые программаторами. Микроконтроллер вставляется в панельку программатора (только предварительно нужно убедиться, что используемый программатор рассчитан на программирование вашего контроллера), запускается соответствующая программа, в которой указывается тип контроллера и имя файла, в котором находятся коды вашей программы, и программатор заносит их в МК. Если, конечно, посл-

едний исправен.

Кстати, существуют программы, называемые дизассемблерами, которые осуществляют обратную операцию – переводят коды программы в понятные человеку команды.

### Особенности включения МК и назначение выводов

Оставим теперь на время внутреннее устройство МК и обратимся к внешнему. Стандартные микроконтроллеры семейства x51 выпускаются в сороконогих DIP-корпусах с расстоянием между рядами ножек 15 мм, а между самими ножками – 2,54 мм. Их цоколевка и стандартная схема включения приведена на рис. 2.

Ножка 20 – GND (земля). Она соединяется с общим проводом. Ножка 40 (Vcc) – шинной питания (+3...5 В). К ножкам 18 (XTAL2) и 19 (XTAL1) подключается кварцевый резонатор. Наиболее часто используются кварцы – на 11,0592 МГц и 12 МГц, хотя на практике МК семейства x51 работают с кварцами и с более низкими частотами (например, 1 МГц), и с более высокими (я встречал МК x51 от Philips, работающий на 40 МГц). Для более стабильного запуска выводы кварцевого резонатора соединены с общим проводом через конденсаторы C1 и C2 емкостью от 15 до 30 пФ.

Кстати, в англоязычной литературе ножки микросхем называются пинами (pin – булавка, шпилька, гвоздь, болт, штифт).

Ножка 9 – это вход RESET,

или СБРОС. Единичный уровень на этом входе в течение нескольких десятков периодов тактового генератора приводит к сбросу в начальное состояние регистров микропроцессора и к началу исполнения программы с нулевого адреса. Сброс обязателен при подаче напряжения питания на микроконтроллер. С этой целью вход RESET соединяют с шиной питания через конденсатор C3 емкостью несколько микрофард и с общим проводом – через резистор R1 сопротивлением порядка сотни килоом. В момент включения питания конденсатор разряжен, и вход сброса оказывается под потенциалом, близким к Vcc. Несмотря на снижение этого потенциала вследствие заряда C3 в течение нескольких десятков миллисекунд уровень сигнала на входе сброса остается единичным, и осуществляется корректный запуск микроконтроллера.

Как-то раз в одной из моих плат вследствие ошибки в разводке вход сброса оказался висящим в воздухе – упомянутая RC-цепь была соединена с соседней ножкой. В результате мне понадобилось несколько дней для того, чтобы понять, почему при включении питания контроллер то запускался нормально, а то “зависал”, не подавая никаких признаков жизни. Я запрограммировал второй контроллер, вставил вместо первого – то

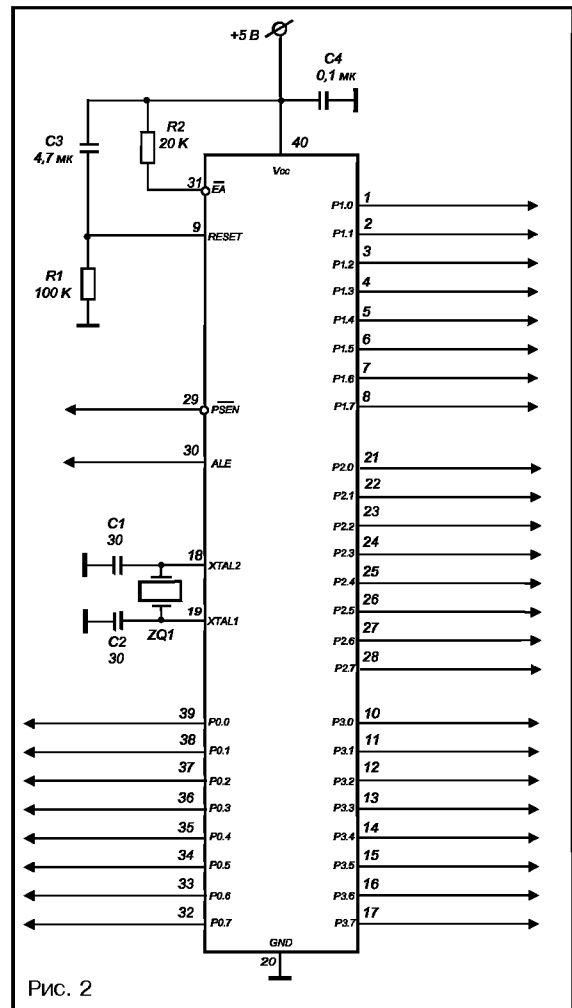


Рис. 2

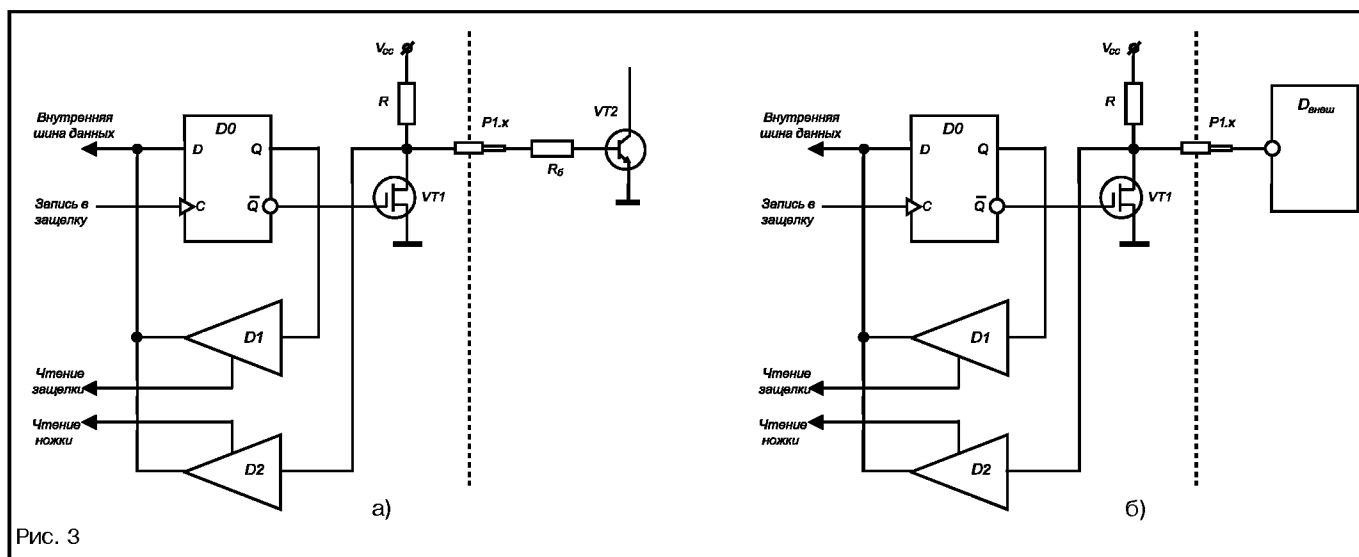


Рис. 3

же самое, разве что после этого один нормальный старт стал приходится не на четыре “зависания”, а на три. В общем, если микроконтроллер с отлаженной программой то нормально стартует, а то ведет себя кое-как, начните с проверки цепи сброса.

Следующий важный вход – EA, ножка 31. Если на него подана логическая единица, то МК работает с уже упоминавшейся памятью программ, расположенной на кристалле. Нуль на входе EA заставит микроконтроллер выполнять программу из внешней памяти (такое возможно). О том, как организовывается связь между МК и дополнительной микросхемой, содержащей эту внешнюю память, мы расскажем в одной из следующих глав. На первых же порах мы будем работать только с памятью программ на кристалле, поэтому на входе EA должна быть установлена логическая единица. Избегайте плавающего потенциала на этом входе – если он окажется висающим в воздухе, контроллер будет работать нестабильно, постоянно сбоят и “зависать”.

На ножке 30 (ALE) обычно присутствует непрерывная последовательность прямоугольных импульсов с частотой в 6 раз ниже, чем у кварцевого резонатора, соединенного с ножками 18 и 19. Для 12-мегагерцового кварца она, очевидно, составит 2 МГц. В этой последовательности длительность единицы на ножке ALE примерно вдвое ниже длительности нуля, т. е. скважность составляет 33%. Этот сигнал можно использовать для тактирования микросхем, требующих для работы внешний источник тактового сигнала.

Назначение ножки 29 (PSEN) будет рассмотрено в разделе, где мы будем говорить о подключении к МК внешней памяти.

Оставшиеся 32 ножки – это линии ввода/вывода информации. Они сгруппированы по восемь в четыре так называемых порта ввода/вывода (P0, P1, P2 и P3). Каждая линия любого из них может

использоваться либо как вход, либо как выход, независимо от использования остальных линий. Для этого их оконечные каскады выполнены соответствующим образом. На рис. 3 приведена упрощенная схема одной из линий ввода/вывода порта P1.

Как видно из рисунка 3а, ножка микросхемы P1.x соединена со стоком выходного полевого транзистора VT1, “подтянутого” к потенциалу питания при помощи внутреннего нагрузочного резистора R. Одновременно с этой же ножкой микросхемы соединен вход буфера ввода D2. Если мы присоединим к этой ножке микросхемы через резистор R<sub>6</sub> базу внешнего транзистора VT2, то занося в триггер-защелку D0 логические 1 или 0, мы будем открывать или закрывать VT2, реализуя таким образом выбранную линию в качестве линии вывода информации.

Использование линии в качестве линии ввода информации иллюстрируется рис. 3б. Ножка микроконтроллера (а, следовательно, и вход буфера D2) соединены с выходом микросхемы D<sub>внеш</sub>, состояние которого мы хотим проанализировать (иными словами, “вести” его в МК или “прочитать”). Но прежде, чем читать содержимое буфера D2, необходимо закрыть транзистор VT1, записав в триггер D0 этой линии единицу. В самом деле, если VT1 будет открыт, он попросту шунтирует анализируемый выход микросхемы D<sub>внеш</sub>. В лучшем случае этот конфликт на ножке просто исказит вводимую информацию, когда выход микросхемы D<sub>внеш</sub> будет “тянуть” потенциал вверх, а выход VT1 – вниз. В худшем же варианте победа сильнейшей из противоборствующих сторон приведет к сгоранию слабой. Так что запомним, что если какие-то линии порта мы собираемся использовать в качестве линий ввода, то перед этим обязательно в соответствующие выходные триггеры нужно записать единицы.

По схеме, приведенной на рис. 3,

выполнены линии портов P1, P2 и P3. Порт P0 оформлен несколько иначе – сток его транзистора VT1 вместо обычного нагрузочного резистора соединен с динамической нагрузкой (источником тока). Это сделано для того, чтобы линии порта P0 при занесении в их триггеры защелки единичек оказывались в так называемом высокоимпедансном (“сером”) состоянии, характеризующимся очень высоким выходным сопротивлением. В остальном же функционирование линий порта P0 похоже на работу линий остальных трех портов.

**Александр Фрунзе,**  
alex.fru@mtu-net.ru

*Продолжение следует*

### Литература

1. А. Фрунзе, С. Хоркин. Однокристалльные микро-ЭВМ. РАДИО, 1994 г., №№ 8–12/1994, №№ 1–3/1995.
2. В. Я. Нерода, В. Э. Торбинский, Е. Л. Шлыков. Однокристалльные микро-ЭВМ MCS-51. Архитектура. – М., изд. Диджитал Компонентс. 1995, с. 164.
3. Р. Токхайм. Микропроцессоры: курс и упражнения. Пер. с англ. – М., Энергоатомиздат. 1988, с. 336.
4. В. В. Сташин, А. В. Урусов, О. П. Мологонцева. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах. – М., Энергоатомиздат, 1990, с. 224.

# Аналоговые коммутаторы

Аналоговый коммутатор служит для переключения непрерывно изменяющихся электрических сигналов. Если коммутатор находится в состоянии "включено", его выходное напряжение должно, по возможности, быть равным входному; если же коммутатор находится в состоянии "выключено", выходное напряжение должно быть как можно ближе к нулю.

## 1. Общие сведения

Существуют различные схемные решения коммутаторов, удовлетворяющие указанным условиям. Их принцип действия показан на рис. 1 на примере механических переключателей.

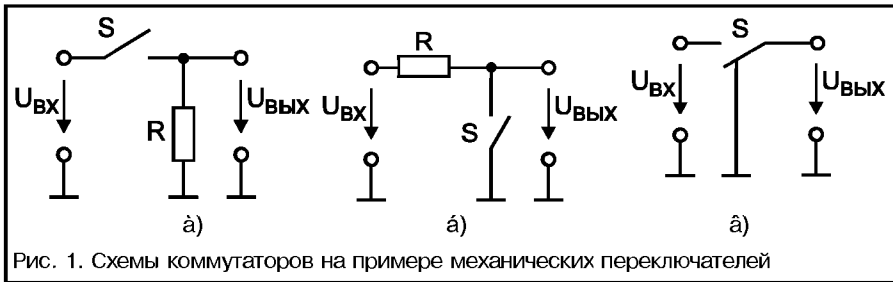


Рис. 1. Схемы коммутаторов на примере механических переключателей

На рис. 1а представлен последовательный коммутатор. Пока контакт замкнут,  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}$ . Когда контакт размыкается, выходное напряжение становится равным нулю. Все это справедливо, если источник сигнала имеет нулевое выходное сопротивление, и емкость нагрузки равна нулю. При значительном выходном сопротивлении источника сигнала напряжение  $U_{\text{вых}}$  делится между этим сопротивлением и резистором R. Поэтому данную схему не следует применять в случае, если источником сигнала является источник тока, например, фотодиод. При существенной емкости нагрузки во время разряда этой емкости при размыкании ключа S выходное напряжение коммутатора падает до нуля с задержкой.

В схеме параллельного коммутатора (рис. 1б)  $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}$  при замкнутом ключе, если входное сопротивление нагрузки коммутатора бесконечно велико. Если же оно соизмеримо с сопротивлением резистора R, то на резисторе будет падать часть выходного напряжения источника сигнала. При наличии емкостной нагрузки выходное напряжение будет устанавливаться после размыкания ключа относительно медленно.

Последовательно-параллельный коммутатор, показанный на рис. 1в, не имеет недостатков двух предыдущих схем. В любом рабочем состоянии он имеет выходное сопротивление, близкое к нулю.

## 2. Электронные коммутаторы

Разновидности аналоговых коммутаторов, показанные на рис. 1, могут быть реализованы на электронных элементах с управляемым сопротивлением, имеющим малое минимальное и высокое

максимальное значения. Для этих целей могут использоваться диодные мосты, биполярные и полевые транзисторы. Вследствие своей неидеальности, они вносят погрешности в обрабатываемые

сигналы. Источниками погрешностей электронных аналоговых коммутаторов являются:

- ненулевое проходное сопротивление электронного ключа во включенном состоянии и конечная его величина в выключенном;
- остаточное падение напряжения на замкнутом ключе, т. е. наличие напряжения на ключе при отсутствии тока через него;

- нелинейная зависимость сопротивления ключа от напряжения (тока) на информационном и управляющем входах;
- взаимодействие управляющего и коммутируемого сигналов;
- ограниченный динамический диапазон (по амплитуде и по знаку) коммутируемых токов и напряжений.

Ключи на биполярных транзисторах и, в особенности, на диодных мостах потребляют значительную мощность по цепям управления и имеют сравнительно большое остаточное напряжение, составляющее единицы милливольт, что вносит заметную погрешность при коммутации слабых сигналов (менее 100 мВ). Такие ключи имеют высокое быстродействие (время переключения диодных ключей, выполненных на диодах Шоттки, достигает 1 нс) и используются для построения сверхскоростных коммутаторов. Более широкое применение нашли коммутаторы на полевых транзисторах.

## 3. Коммутаторы на полевых транзисторах

Как известно, полевой транзистор в области малых напряжений сток-исток ведет себя как резистор, сопротивление которого может изменяться во много раз при изменении управляющего напряжения затвор-исток  $U_{\text{зи}}$ . На рис. 2а изображена упрощенная схема последовательного коммутатора на полевом транзисторе с управляющим p-n-переходом.

Если в этой схеме управляющее напряжение  $U_{\text{упр}}$  установить меньшим, чем минимально возможное входное

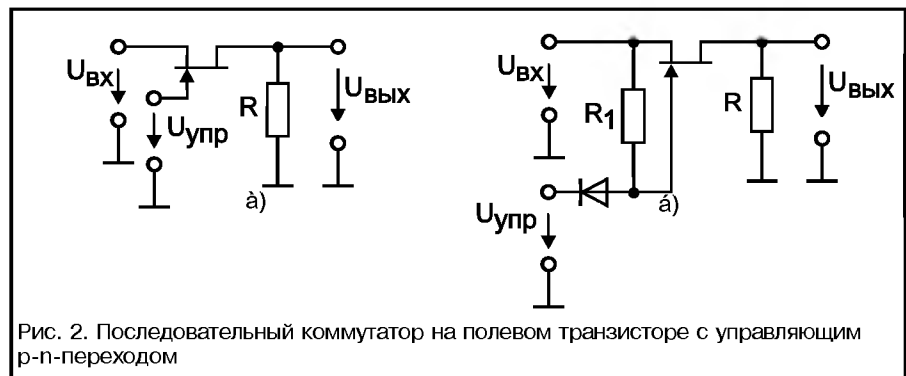


Рис. 2. Последовательный коммутатор на полевом транзисторе с управляющим p-n-переходом

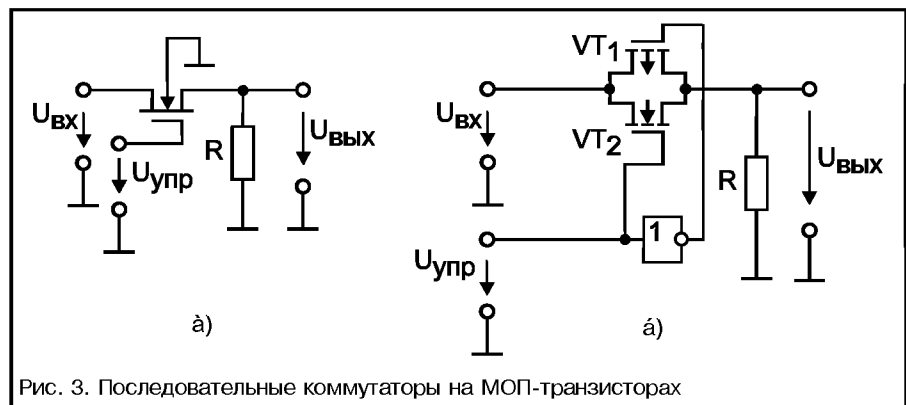


Рис. 3. Последовательные коммутаторы на МОП-транзисторах

напряжение, по крайней мере, на величину порогового напряжения транзистора – транзистор закрывается, и выходное напряжение станет равным нулю. Для того чтобы транзистор был открыт, напряжение затвор-исток  $U_{зи}$  следует поддерживать равным нулю, обеспечивая тем самым минимальное сопротивление канала. Если же это напряжение станет больше нуля, управляющий р-п-переход откроется, и выход коммутатора окажется соединенным с цепью управления. Равенство  $U_{зи}$  нулю не просто реализовать, так как потенциал истока изменится в соответствии с изменением входного потенциала. Наиболее простой путь преодоления этой трудности показан на рис. 2б.

Если напряжение  $U_{упр}$  установить большим, чем максимально возможное входное напряжение коммутатора, диод VD закроется, и напряжение  $U_{зи}$  будет, как это и требуется, равно нулю. При достаточно большом отрицательном управляющем напряжении диод будет открыт, а полевой транзистор закрыт. В таком режиме работы через резистор  $R_1$  течет ток от источника входного сигнала в цепь управляющего сигнала. Это не мешает нормальной работе схемы, так как выходное напряжение коммутатора в этом режиме равно нулю. Нарушение нормального режима работы такой схемы может произойти лишь в случае, если цепь входного сигнала содержит разделительный конденсатор, который при закрытом транзисторе коммутатора заряжается до отрицательного уровня управляющего напряжения.

Проблемы подобного рода не возникают, если в качестве ключа использовать полевой транзистор с изолированным затвором (МОП-транзистор). Его можно перевести в открытое состояние, подавая управляющее напряжение большее, чем максимальное входное положительное напряжение, причем и в таком режиме работы ток затвора будет равен нулю. Таким образом, в этой схеме коммутатора отпадает необходимость в диоде и резисторе  $R_1$ . Схема ключа на МОП-транзисторе приведена на рис. 3а. Здесь ключом является n-канальный МОП-транзистор обогащенного типа, не проводящий ток при  $U_{зи} < 0$ . В этом состоянии сопротивление канала, как правило, достигает единиц или даже десятков ГОм, и сигнал не проходит через ключ. Подача на затвор значительного положительного напряжения относительно истока приводит канал в проводящее состояние с сопротивлением от 20 до 200 Ом, типичным для транзисторов, используемых в качестве аналоговых ключей.

Приведенная на рис. 3а схема будет работать при положительных входных сигналах, которые, по крайней мере, на 5 В меньше, чем  $U_{упр}$ . При более высоком уровне сигнала напряжение затвор-исток будет недостаточно, чтобы удержать транзистор в открытом состоянии (сопротивление канала в открытом состоянии  $R_0$  начнет расти); отрицательные

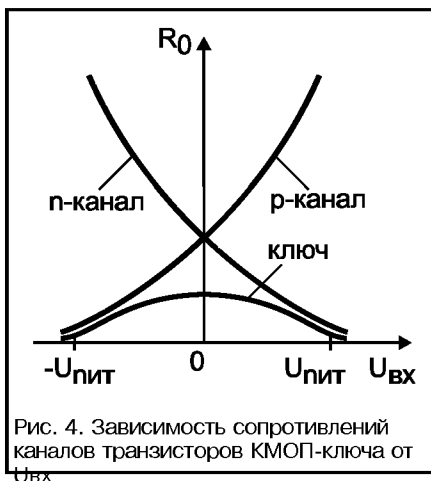


Рис. 4. Зависимость сопротивлений каналов транзисторов КМОП-ключа от  $U_{вх}$

входные сигналы вызовут включение транзистора при заземленном затворе. Поэтому, если надо переключать сигналы обеих полярностей (например, в диапазоне от -10 до +10 В), то можно использовать такую же схему, соединив подложку с источником -15 В и подавая на затвор напряжение +15 В (включено) или -15 В (выключено).

Лучшими характеристиками обладают ключи на комплементарных МОП-транзисторах (КМОП-ключи), показанные на рис. 3б. Здесь на подложку транзистора VT1 подается положительное питающее напряжение  $+U_{пит}$ , а на подложку транзистора VT2 – отрицательное питающее напряжение  $-U_{пит}$ . При высоком уровне управляющего сигнала напряжение на затворе n-канального транзистора VT2 практически равно  $+U_{пит}$ . В таком случае транзистор VT2 проводит сигналы с уровнями от  $-U_{пит}$  до  $+U_{пит}$  без нескольких вольт (при более высоких уровнях сигнала  $R_0$  начинает катастрофически расти). В это время напряжение на затворе VT1 практически равно  $-U_{пит}$ . Транзистор VT1 пропускает сигналы с уровнями от  $+U_{пит}$  до значения, на несколько вольт выше  $-U_{пит}$ . Таким образом, все сигналы в диапазоне от  $+U_{пит}$  до  $-U_{пит}$  проходят через двухполюсник с малым сопротивлением (рис. 4). При переключении управляющего сигнала на низкий уровень, напряжение на затворе n-канального транзистора VT2

устанавливается близким к  $-U_{пит}$ , а напряжение на затворе p-канального транзистора VT1 устанавливается близким к  $+U_{пит}$ . Тогда при  $U_{пит} < U_{вх} < +U_{пит}$  оба транзистора заперты, и цепь коммутатора разомкнута. В результате получается аналоговый переключатель для сигналов в диапазоне от низкого до высокого напряжения питания ключа. Эта схема работает в двух направлениях: любой ее зажим может служить входным. Она является основой практически для всех ИМС аналоговых коммутаторов, выпускаемых в настоящее время.

#### 4. Аналоговые мультиплексоры

Хорошим приложением ключей на полевых транзисторах являются мультиплексоры – схемы, которые позволяют выбрать один из нескольких входов по указанию управляющего цифрового сигнала. Такие устройства входят в состав систем сбора данных микропроцессорных регуляторов промышленных и транспортных объектов. Аналоговый сигнал с выбранного входа будет прямо проходить на выход. На рис. 5 в качестве примера показана функциональная схема аналогового мультиплексора из четырех направлений в одно.

Каждый из ключей от S0 до S3 представляет собой аналоговый КМОП-ключ. Дешифратор декодирует адрес, представленный в двоичном коде, и включает только адресованный ключ, блокируя остальные. Вход разрешения E необходим для наращивания числа коммутируемых источников сигналов; если на этот вход поступает сигнал низкого уровня, то независимо от состояния адресных входов все ключи мультиплексора разомкнуты. Так как аналоговые ключи являются двунаправленными устройствами, аналоговый мультиплексор является одновременно и демультимплексором, т.е. сигнал может быть подан на вход мультиплексора и снят с избранного выхода.

Георгий Волович,  
g\_volovich@mail.ru

Продолжение следует

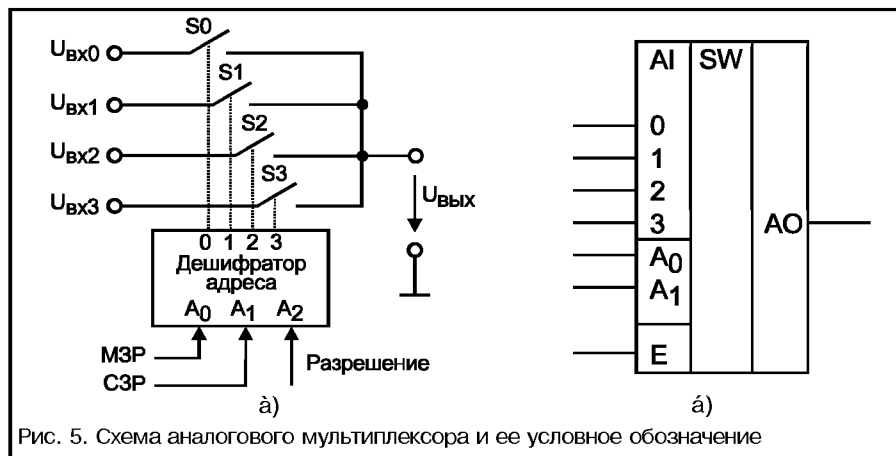


Рис. 5. Схема аналогового мультиплексора и ее условное обозначение

(Продолжение, начало №3/2001)

# Основы схемотехники жидкокристаллических дисплеев

## 2.2. Пассивная адресация матричных графических ЖКЭ

В циклах развертки ЖКЭ обязательно должна обеспечиваться смена полярности строчных и столбцовых сигналов, которая устраняет постоянную составляющую тока, протекающего через ЖК-ячейки пикселей. На рис. 10 показаны две системы формирования уровней напряжения для строчных и столбцовых драйверов. Символом  $\pm D$  (данные) на рисунке обозначены амплитуды напряжений для столбцовых электродов ЖКЭ при двух фазах полярности, а  $\pm S$  – амплитуды напряжений для строчных электродов ЖКЭ при двух фазах полярности.

В системе, расположенной справа на рис. 10, используется смещение уровней столбцовых и строчных напряжений. Как можно заметить, эта система обеспечивает формирование идентичных напряжений на пикселях, но при существенно меньшем размахе амплитудных значений. Именно такая система используется во всех пассивно адресуемых матричных ЖКЭ, поскольку создать КМОП БИС с меньшими напряжениями питания выходных формирователей гораздо проще и дешевле. Для адресации STN ЖКЭ с высоким коэффициентом мультиплексирования строк требуются амплитудные значения напряжений свыше 40 В. Современная технология позволяет создавать высо-

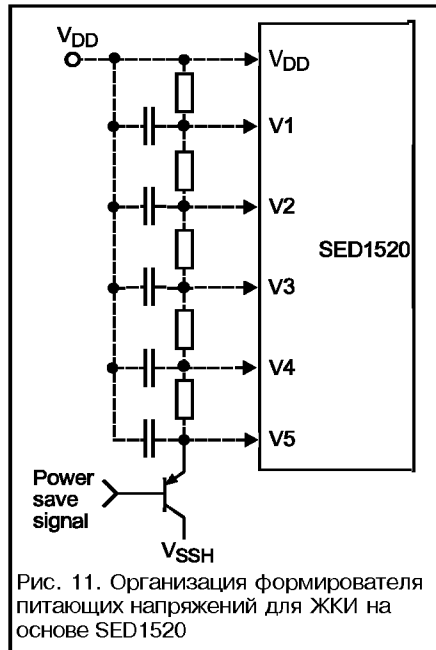


Рис. 11. Организация формирователя питающих напряжений для ЖКИ на основе SED1520

ковольтные КМОП драйверы с напряжениями до 60 В.

### 2.2.1. Формирование уровней опорных напряжений для возбуждения строк и столбцов в ЖКИ и ЖКЭ

В низкомультиплексных ЖКИ формирователи уровней напряжений содержатся в самой структуре драйверов. Для ЖКИ

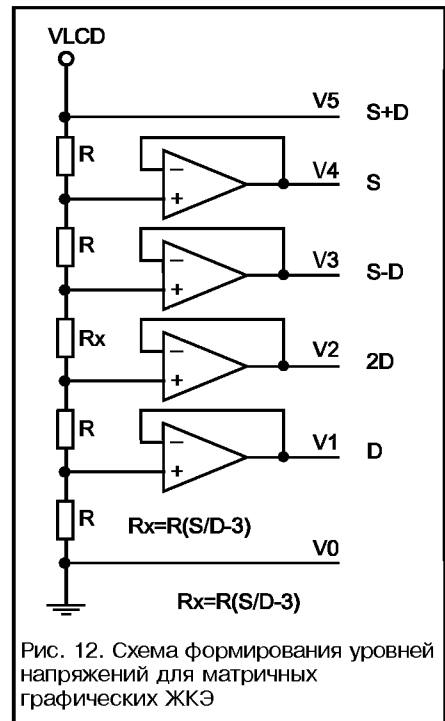


Рис. 12. Схема формирования уровней напряжений для матричных графических ЖКЭ

и ЖКЭ, в которых используется большой мультиплекс (1:8, 1:16, 1:32), уровни напряжений формируются внешним резистивным делителем (рис. 11) [5]. Каждое звено делителя шунтируется емкостью, чтобы сгладить пульсации напряжений, которые появляются на фронтах строчных и столбцовых сигналов. Броски тока возникают вследствие емкостного характера ЖК-ячейки (емкость матричного экрана небольшого формата может составлять несколько десятков нФ).

Чтобы обеспечить поддержание стабильности напряжения на резисторах

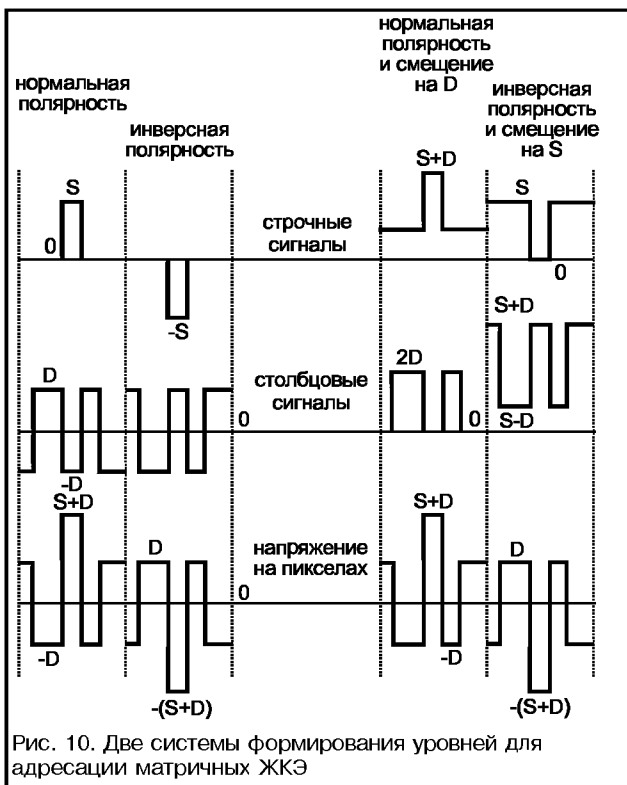


Рис. 10. Две системы формирования уровней для адресации матричных ЖКЭ

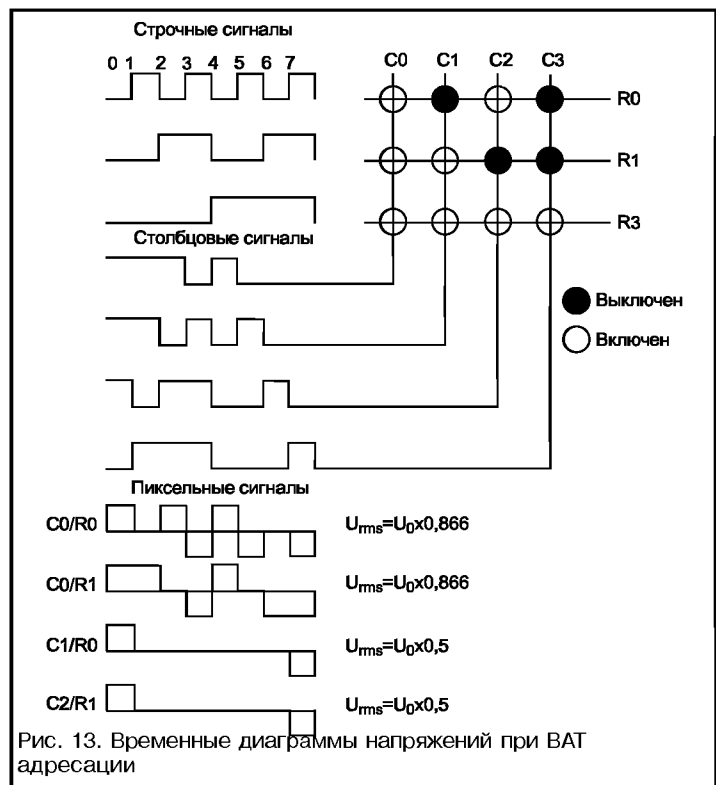


Рис. 13. Временные диаграммы напряжений при VBT адресации

делителя, ток через делитель должен быть в 8–10 раз больше среднего тока, потребляемого схемой управления строками и столбцами от любого узла делителя. В дисплеях фирмы PowerTip номиналы резисторов таковы: два верхних и два нижних имеют номинал 4,7 кОм, а средний – 8,2 кОм. Общий размах действующего напряжения на резистивном делителе составляет около 7–8 В. Ток, протекающий через резистивный делитель, равен 250–300 мкА. Снизить ток потребления всего ЖКИ можно за счет применения в делителе высокоомных резисторов с повторителями на основе маломощных счетверенных ОУ (как правило, rail-to-rail). Такое решение применяется в специализированных заказных ЖКИ и матричных ЖКЭ. Для ЖКЭ ток потребления существенно возрастает вследствие большей емкости экрана. Использовать обычный резистивный делитель становится неэкономично, так как требуется пропускать через делитель очень большой ток. К тому же при большом мультиплексе более жестким становится требование к стабильности всех уровней напряжений. Поэтому в формирователях матричных ЖКЭ всегда применяются повторители на ОУ. Такая схема позволяет получать стабильные уровни напряжений, обеспечивая малый уровень потребления за счет использования высокоомных резисторов в делителе. На рис. 12 представлена схема формирования уровней напряжений для строчных и столбцовых драйверов матричных ЖКЭ. В качестве ОУ обычно применяют LM324. Базовые уровни напряжений S и D определяются пороговым напряжением используемого ЖК-материала и коэффициентом мультиплексирования.

**2.2.2. Адресация с одновременной выборкой нескольких строк**

Адресация с одновременной выборкой нескольких строк впервые была предложена Madhusudana в 1979 г. [8, 9]. Бинарная техника адресации (Binary Addressing Technique, BAT) использует только два уровня напряжений. В качестве строчных функций для данной техники адресации предлагалось использовать бинарные ортогональные функции. По определению, к множеству ортогональных функций принадлежат те функции, которые при попарном умножении друг на друга (при одних и тех же аргументах) всегда дают в результате ноль, и наоборот – каждая из данного множества функций, будучи умноженной сама на себя, дает не нулевой результат. К такому типу функций принадлежат, например, функции, образующиеся разрядами обычного двоичного счетчика.

На рис. 13 показаны временные диаграммы напряжений при реализации адресации BAT для низкомultipлексного ЖКИ с числом строк, равным 3. Коэффициент мультиплексирования в этом случае равен 3. В качестве строчных напряжений развертки можно использовать

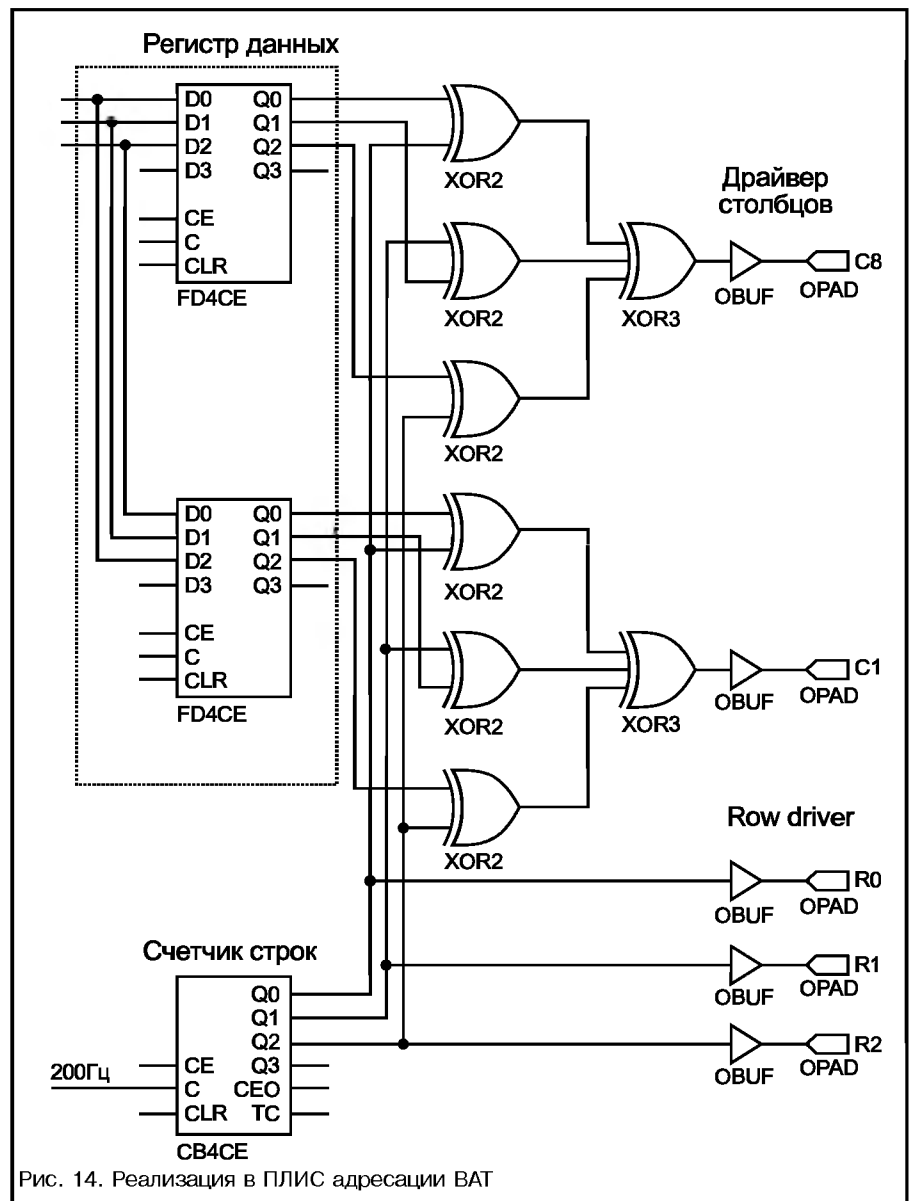


Рис. 14. Реализация в ПЛИС адресации BAT

пользовать разряды трехразрядного двоичного счетчика, а для генерации столбцовых напряжений применяется свертка матрицы данных с бинарной функцией строк, используя поразрядно логические функции “исключающее ИЛИ” и свертку результатов по модулю 2. Эта технология адресации основывается на применении в качестве базовых функций ортогональных функций Радамахера. Для низких значений мультиплексирования (2, 3 или 4) можно получить приемлемый контраст изображения на экране ЖКИ. Использование только бинарных уровней при адресации позволяет применять данный метод адресации в любых микроконтроллерах, не имеющих встроенного контроллера ЖКИ. Можно реализовать контроллер низкомultipлексного ЖКИ на основе метода BAT и в составе ПЛИС. Решение об использовании готового недорогого контроллера-драйвера низкомultipлексного ЖКИ или же синтезированного в составе контроллера (ПЛИС) может быть обусловлено экономическими или топологическими

соображениями. Понятно, что использование данного метода не всегда обосновано. При больших информационных объемах ЖКИ имеет смысл применять отдельную микросхему драйвера низкомultipлексных ЖКИ, например фирм Holtek или Philips.

Выполнив необходимые вычисления для получения значений эффективных напряжений, можно заметить, что для выбранных элементов эффективное напряжение составляет  $0,86U_0$ , а для невыбранных –  $0,5U_0$ , где  $U_0$  – амплитуда уровня логической 1. Если уровень напряжения логической 1 логики контроллера BAT составляет 3 В, получим для выбранного элемента изображения эффективное напряжение 2,598 В. Для невыбранного элемента оно составит 1,5 В. Для того чтобы использовать такой контроллер, нужен ЖКИ с пороговым напряжением  $(2,598+1,5)/2=2,049$  В. Полученное пороговое напряжение вполне реально для ЖКИ. Соответственно, если логика позволяет (например, при использовании микроконтроллеров фирмы Microchip), можно подбором

рабочего напряжения от 2,5 до 5 В подстроиться под любое пороговое напряжение ЖКИ, уже имеющегося у пользователя. Можно сравнить полученные результаты со значениями эффективных напряжений, которые обеспечивает драйвер Philips PCF8576:

$$U_{rms} (on) = 0,638U_0;$$

$$U_{rms} (off) = 0,333U_0;$$

$$U_{on}/U_{off} = 1,91.$$

Селективность у драйвера Philips, конечно, выше, и он имеет преимущество, поскольку может адресовать ЖКИ, имеющие пороговые напряжения в более широком диапазоне. Однако не стоит расстраиваться: современные ЖК-материалы, которые используются в низкомультиплексных ЖКИ, на практике обеспечивают контраст не хуже (конечно, при условии согласования порогового напряжения). Коэффициент мультиплексирования можно увеличить до 4.

Адресация VAT может быть реализована программно на выходах портов любого микроконтроллера. Программную реализацию вычислений функций для столбцовых выходов можно организовать двумя способами:

- пошаговым вычислением логических значений для каждого выхода с сохранением результатов в буферных регистрах для синхронного вывода по временной метке таймера;
- использованием для увеличения производительности табличных функций (Lookup Table).

Пример реализации алгоритма адресации VAT в структуре ПЛИС показан на рис. 14.

Технология с одновременной выборкой нескольких строк имеет в настоящее время практическую реализацию в драйверах-контроллерах для адресации матричных STN ЖКЭ. Один из примеров такой технологии – MLA (Multi-Line Addressing). Предельный вариант при использовании одновременной выборки строк – все строки матричного графического ЖКЭ адресуются одновременно. Этот вариант называется активной адресацией (Active Addressing). Не путать с похожей по звучанию, но имеющей другой смысл технологией Active Matrix Addressing – адресацией элементов изображения с использованием матрицы активных ключей (нелинейных элементов). Нелинейные элементы могут иметь диодную, транзисторную или варисторную структуру. Реализация активной адресации в полном объеме, с поддержкой цветных ЖКЭ с градациями серого, практически возможна (и реализована в макетном варианте в начале 90-х гг., [7]), но требует мощной аппаратной поддержки и специальной архитектуры строчных драйверов.

### 2.3. Структура драйверов низко-

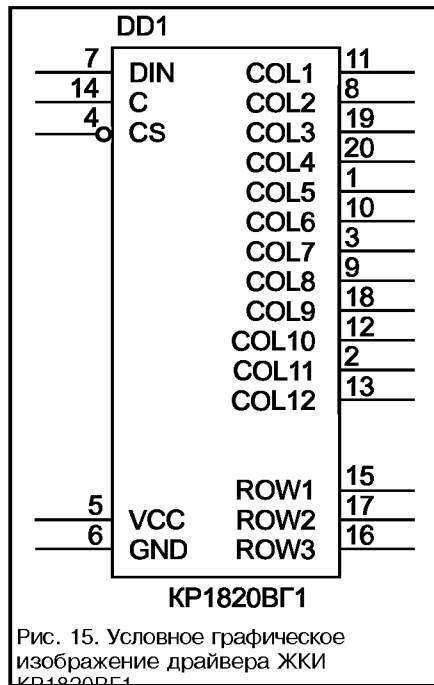


Рис. 15. Условное графическое изображение драйвера ЖКИ KR1820BG1

### мультиплексных ЖКИ

Ниже приводится краткий обзор архитектуры и основных характеристик наиболее широко распространенных драйверов ЖКИ.

#### 2.3.1. Структура и режимы работы драйвера ЖКИ KR1820BG1 (НПО Интеграл, г. Минск)

Микросхема предназначена для работы только в мультиплексном режиме 1:3.

напряжений – 2,85–5 В. Регулировка контраста может производиться только изменением уровня питающего напряжения. Микросхема имеет возможность каскадирования нескольких микросхем. Ток потребления – не более 300 мкА. Микросхема поставляется в корпусах DIP-20 и SOIC. Условное графическое изображение драйвера KR1820BG1 показано на рис. 15 [4].

#### 2.3.2. Структура и работа драйвера ЖКИ MM5483 (National Semiconductor)

Драйвер обеспечивает управление ЖКИ с прямой адресацией (без мультиплексирования). По приведенной на рис. 16 структурной схеме нетрудно догадаться о принципе работы микросхемы. Максимальное число сегментных выводов – 32. Микросхема имеет встроенный генератор развертки и буферный и выходной регистры. Драйвер допускает каскадирование. Смена информации на ЖКИ производится перезагрузкой всех регистров. ЖКИ с прямой адресацией редко используются в портативных приборах. Но там, где нужен хороший контраст, широкая угловая характеристика, расширенный температурный диапазон, используются именно они: в индикаторах бензоколонок, автомобильных табло, различных уличных информационных табло и электронных ценниках.

Аналогичный драйвер – AY0438 фирмы Microchip (рис. 17) – также работает только в режиме прямой адресации. Его достоинства – достаточно низкий уровень

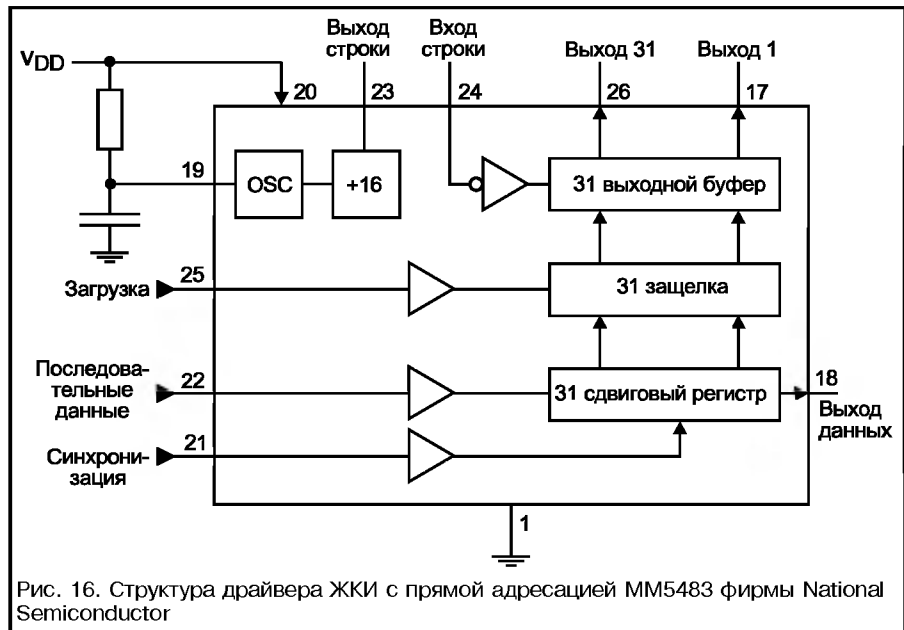


Рис. 16. Структура драйвера ЖКИ с прямой адресацией MM5483 фирмы National Semiconductor

Максимальное число столбцов – 12, общее число адресуемых элементов изображения – 36. Интерфейс с микроконтроллером – трехпроводный последовательный. Питание логики и выходных формирователей осуществляется от одного источника. Диапазон питающих

потребления (10 мкА) и широкий диапазон рабочих напряжений (от 3 до 8,5 В). По структуре AY0438 представляет собой почти полный функциональный аналог драйвера MM5483. Поставляется в корпусах DIP-40 и PLCC-44.

#### 2.3.3. Структура и основные характеристики драйвера HT1621 (Holtek)

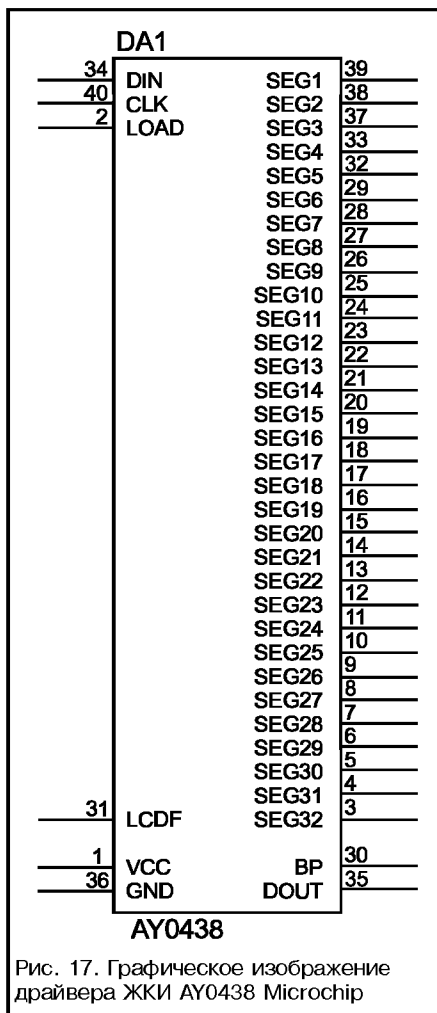


Рис. 17. Графическое изображение драйвера ЖКИ AY0438 Microchip

Микросхема драйвера HT1621 (рис. 18) предназначена для управления низкомультиплексными ЖКИ с числом элементов изображения до 128 (4x32). Микросхема имеет трехпроводный последовательный интерфейс для связи с микроконтроллером. В структуре драйвера, кроме схемы, обеспечивающей управление строками и столбцами ЖКИ, имеется программно управляемый тональный генератор с двумя фиксированными частотами (2 или 4 кГц), а также схема сторожевого таймера. Период сторожевого таймера и его активность также программируются.

Основные характеристики драйвера:

- максимальное число столбцов – 32;
- мультиплекс (Duty) программируемый из ряда 1:2, 1:3, 1:4;
- режим формирователя напряжений (Bias) – программируемый 1:2 или 1:3;
- встроенный генератор регенерации;
- встроенная дисплейная память 32x4 бита;
- отдельный вывод для регулировки контраста;
- программируемый режим пониженного энергопотребления;
- парафазный выход для зуммера;
- 8 режимов для сторожевого таймера;
- диапазон питающих напряжений 2,4–5 В;

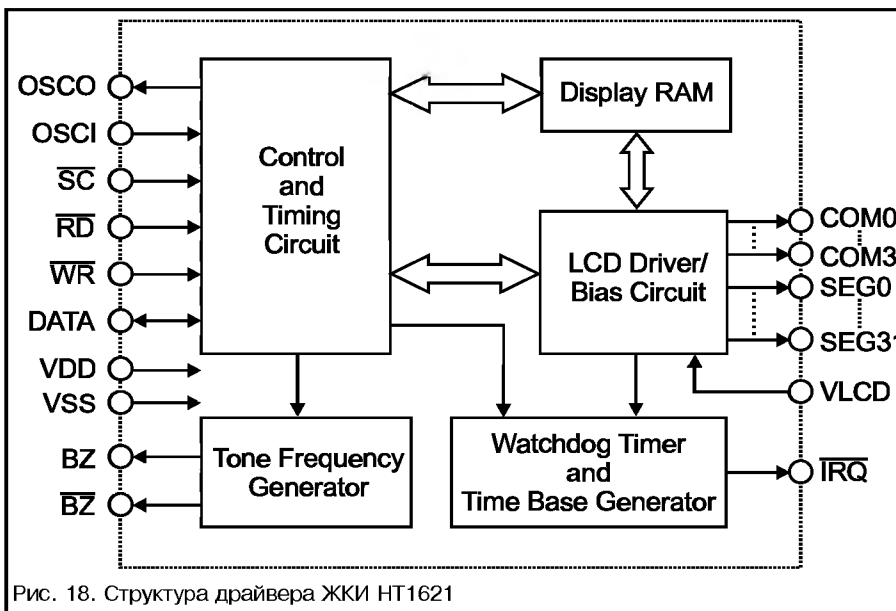


Рис. 18. Структура драйвера ЖКИ HT1621

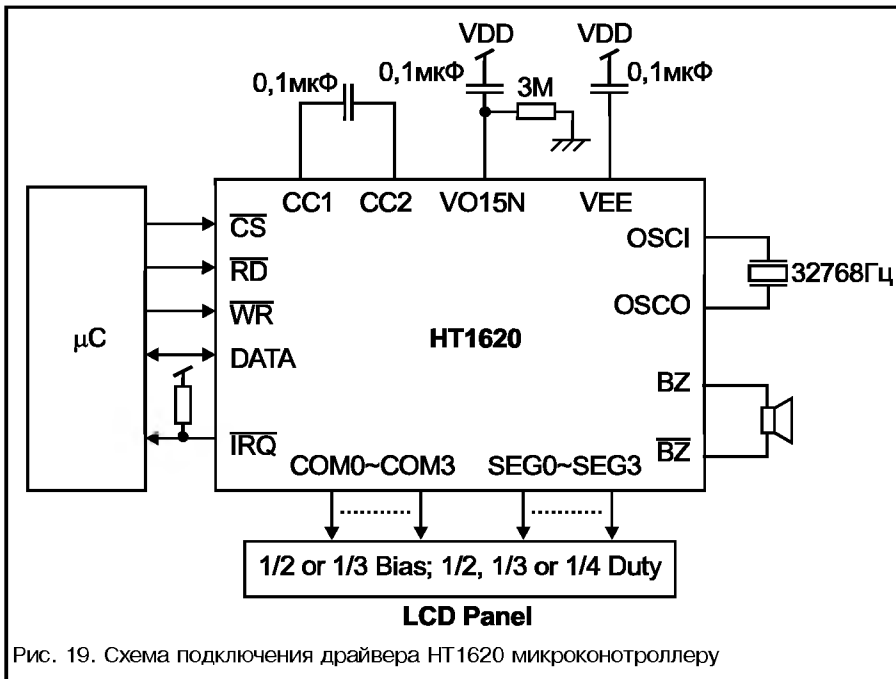


Рис. 19. Схема подключения драйвера HT1620 микроконтроллеру

- типовое потребление 150 мкА (3 В);
- корпус HT1621 – SSOP-48, HT1621B SSOP-48 или DIP-48.

Имеется также вариант исполнения драйвера с уменьшенным числом сегментов в 28-выводном корпусе "Skinny". Для этого варианта число сегментов – 16, а максимальный мультиплекс – 1:3.

Драйвер HT1620 немного отличается от HT1621 назначением отдельных выводов и работает только в режиме с часовым кварцевым генератором. В остальном их функционирование одинаково. Типовая схема включения драйвера HT1620 показана на рис. 19.

**2.3.4. Структура и основные характеристики драйвера PCF8576C (Philips)**

Как и большинство микросхем периферийных устройств фирмы Philips, этот драйвер имеет интерфейс I<sup>2</sup>C. Максимальное число адресуемых драй-

вером элементов изображения равно 160 (40x4). Драйвер многофункциональный, программно могут быть изменены многие параметры: мультиплекс от 1:1 до 1:4, тип Bias; есть возможность обеспечить аппаратную поддержку мерцания отдельных элементов изображения и т.д.

Руководствуясь рис. 20, можно понять, как реализуется программное изменение типа Bias: ключом шунтируется центральный резистор делителя, задающего число уровней напряжения, в результате чего количество уровней сокращается с 4 до 3, и, соответственно, значение Bias изменяется от 1:3 до 1:2. Диапазон питающих напряжений драйвера PCF8576C – от 2,6 до 6 В. Уровень потребления рекордно низкий для такой сложной микросхемы – не более 60 мкА. Микросхема также обеспечивает каскадирование. Наличие дисплейного контроллера, имеющего свою систему дисплейных команд, дает возможность

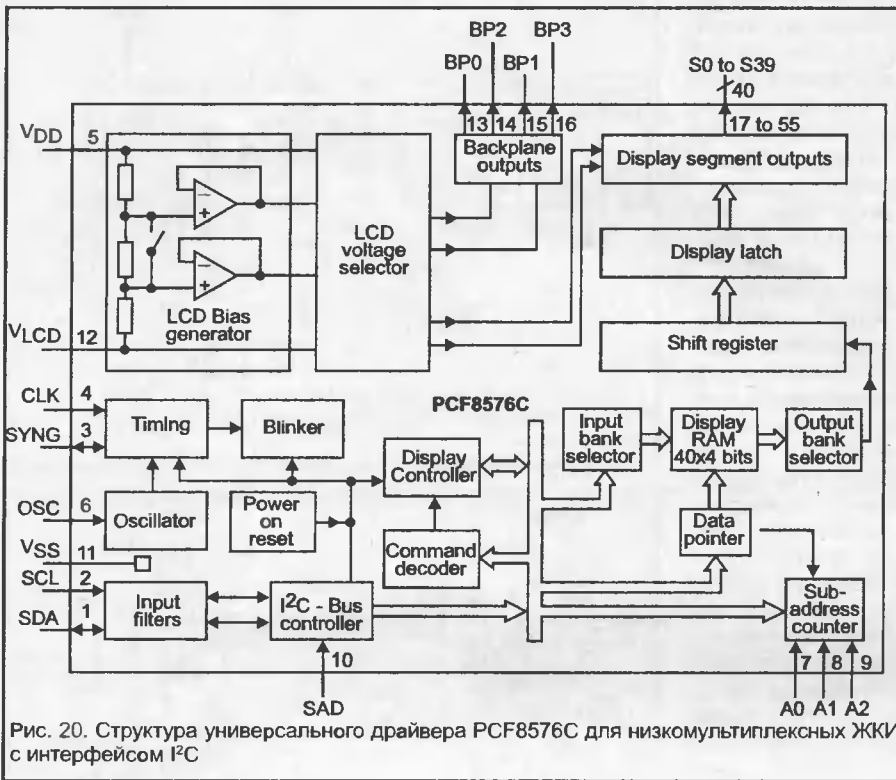


Рис. 20. Структура универсального драйвера PCF8576C для низкомультиплексных ЖКИ с интерфейсом I<sup>2</sup>C

Руководствуясь рис. 20, можно понять, как реализуется программное изменение типа Bias: ключом шунтируется центральный резистор делителя, задающего число уровней напряжения, в результате чего количество уровней сокращается с 4 до 3, и, соответственно, значение Bias изменяется от 1:3 до 1:2. Диапазон питающих напряжений драйвера PCF8576C – от 2,6 до 6 В. Уровень потребления рекордно низкий для такой сложной микросхемы – не более 60 мкА. Микросхема также обеспечивает каскадирование. Наличие дисплейного контроллера, имеющего свою систему дисплейных команд, дает возможность производить различные операции с дисплейной памятью. Микросхема разработана около 20 лет назад и до сих пор находится в производстве.

Александр Самарин,  
samar@zelaya.ru

Продолжение следует

(Окончание, начало № 2/2000, № 1–3/2001)

# Инструментальные усилители

## 7.3. Стандартные применения

Ниже описывается ряд применений, где преимущества ИУ привели к их широкому использованию.

**Масштабные усилители.** Поскольку простые вычитатели (рис. 5) производятся с очень точной подгонкой входящих в них резисторов, например, для INA105 она составляет 0,005%, а для SSM2141 – даже 0,001%, они находят применение в качестве точных масштабных усилителей. Они выпускаются с различными значениями резисторов, которые обычно попарно равны R1=R3, R2=R4. Различным включением этих четырех резисторов можно получить различные усиления. Упомянутые выше ИУ имеют все резисторы одинаковые, что дает следующие коэффициенты усиления: +2, +1, +1/2, -1, -1/2. Подключив резисторы неинвертирующего входа к двум источникам, можно алгебраически просуммировать их напряжения. Хотя точность достигается только при низкоомных источниках сигнала, для ряда применений это несущественно, например, при масштабировании и инвертировании опорных напряжений. Кроме того, их удобно применять как готовые узлы различных устройств, например, классических ИУ на

трех ОУ, преобразователей уровня, преобразователей напряжения в ток и обратно, устройств преобразования несимметричных сигналов в симметричные и обратно. Более сложные ИУ используются как масштабные усилители однофазных сигналов в случаях, когда предъявляются очень высокие требования к линейности. В ИУ эти требования учитываются уже на стадии разработки и нормируются производителем. Например, AMP-01 (рис. 20) имеет нелинейность менее 0,005%, а INA101SG – 0,002%.

**Дифференциальные усилители.** Простые вычитатели, несмотря на зависимость CMMR от симметрии выходных сопротивлений источников, находят применение и как дешевые, точные, благодаря прецизи-

онной подгонке резисторов, дифференциальные усилители. Чаще всего они используются для согласования уровней шин, исключения падений напряжения в проводниках и измерения тока через низкоомные шунты.

Как уже упоминалось, при соответствующем выборе резисторов простой вычитатель может работать с синфазными входными напряжениями, большими как максимального выходного напряжения, так и напряжения питания. Однако при этом будет низкий коэффициент передачи по дифференциальному сигналу. Поэтому в INA117 использован встроенный делитель и большой резистор обратной связи, позволяющий в данном случае иметь единичный коэффи-

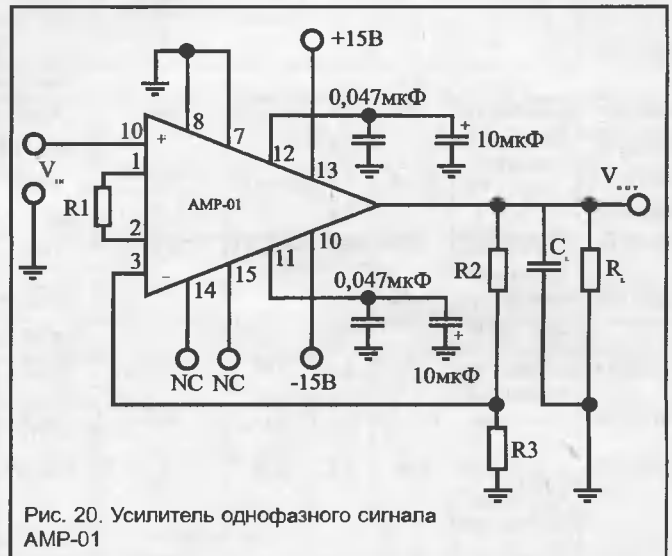


Рис. 20. Усилитель однофазного сигнала AMP-01

тании ±5 В INA117 нормально работает с синфазным напряжением размахом ±200 В при типовом значении CMR в 80 дБ. На рис. 21 показано ее применение для измерения тока в шине, находящейся под большим напряжением относительно земли. Несколько более сложный AD626 на двух ОУ, начинающий работать при напряжении питания от ±2 В и имеющий максимально допустимое напряжение синфазного сигнала 26,5 В, содержит встроенный делитель и простой вычитатель в первом каскаде.

На рис. 22 показано другое распространенное применение дифференциальных схем – передача по симметричной линии, например, витой паре, сигнала в условиях высоких помех. В данном случае это высококачественный акустический сигнал. Применен простой вычитатель SSM2143 в паре с балансным драйвером SSM2142, построенном на аналогичных устройствах, разработанных для таких применений (таблица 7).

Для снижения помех при подсоединении высококачественных динамических микрофонов также используются экранированные витые пары. Приемниками при этом являются специальные сверхмаломощные ИУ. Рис. 23 показывает типовую схему подключения микрофона к SSM-2017, имеющую на частоте 1 кГц при усилении 1000 искажения 0,012% и шум 0,95 нВ/√Гц. Особенностью схемы является подача поляризирующего напряжения на электролитические конденсаторы и защита входов при включении/выключении микрофона с Z1...Z4.

При работе с такими низкоомными источниками, как микрофоны, сейсмоприемники, термодатчики выигрывает в отношении сигнал/шум может быть получен улучшением согласования с источником путем параллельного подключения высокоомных входов нескольких ИУ при последовательном включении их выходов.

“Квазитрансформаторная” схема (рис. 24), дает при этом выигрыш в √2 раз.

ИУ широко применяются как дифференциальные усилители в мостовых схемах измерения, в частности веса, силы, ускорения (тензодатчики) и температуры (терморезисторы и термисторы). Типовая схема такого применения изображена на рис. 25. Ввиду близкой к линейной зависимости сопротивления терморезисторов от температуры, с ними удобнее работать не в обычной мостовой схеме, а в схеме с двойным прецизионным источником тока (рис. 26). Благодаря очень малому смещению входного напряжения и его малому дрейфу, еще одно распространенное применение дифференциального усилителя на ИУ – измерение температуры термопарами (рис. 27). Здесь схема с терморезистором Pt100 компенсирует температуру холодного спая термопары. Отметим, что вполне удовлетворительная компенсация может быть получена и дешевой диодной схемой.

**Взаимные преобразования тока и напряжения, интерфейс “токовая петля”.** ИУ широко используются для точных взаимных преобразований тока и

напряжения. Базовая схема преобразования “ток-напряжение” не требует пояснений. В основе преобразования “напряжение-ток” лежит схема, изображенная на рис. 28. Она принципиально отличается от обычных схем этого назначения на ОУ тем, что обратная связь, обеспечивающая пропорциональность выходного тока входному напряжению, не включает входы, которые остаются чисто диффе-

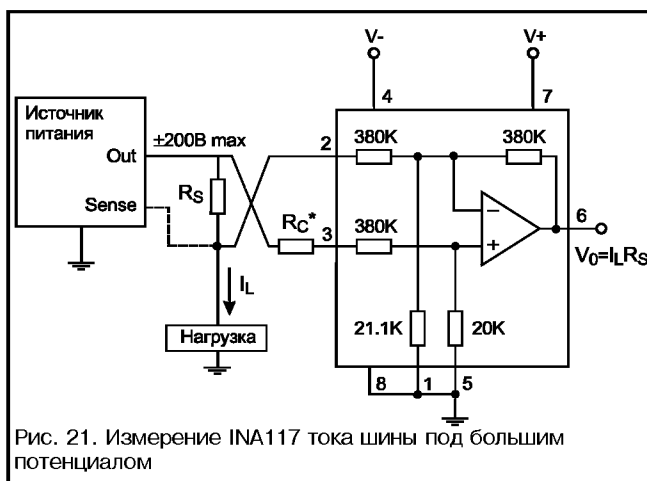


Рис. 21. Измерение INA117 тока шины под большим потенциалом

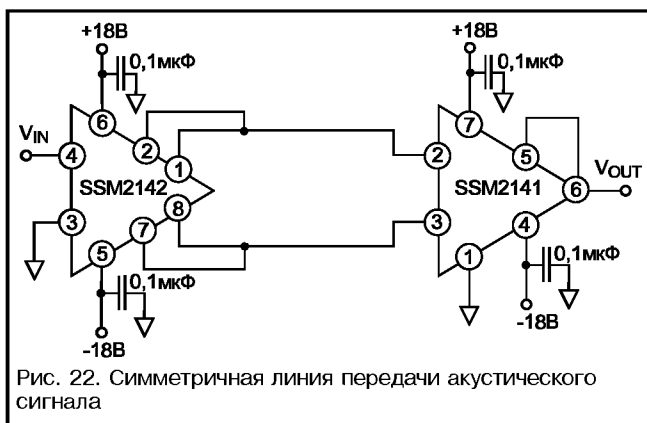


Рис. 22. Симметричная линия передачи акустического сигнала

Таблица 7. Основные параметры инструментальных усилителей для симметричных линий передачи высококачественных акустических сигналов

Тип	Функция	Усиление	Питание, мА, В	Вход синфазного сигнала, В	Выход, В	Подавление синфазного сигнала, дБ	Полоса пропускания, скорость нарастания	Шум на 1 кГц, нВ/Оц	Искажения + шум, %	Примечания
Burr-Brown Corp.										
INA134	Дифференциальный приемник	1	2,4	±4...±18	±25	+пит. -1,8 В	74	3,1 МГц, 15 В/мкс	52	0,0005
INA2134			4,8							
INA137		0,5; 2	2,4	±4...±18	±37	+пит. -1,8 В	74	4 МГц, 15 В/мкс	26	0,0005
INA2137			4,8							
DRV134	Дифференциальный передатчик	6	5,2	±4,5...±18	±10	+пит. -2,5 В	68	1,5 МГц, 15 В/мкс	0,0005% при 10 В, 1 кГц	0,001 при 10 В, 1 кГц
DRV135										
Analog Devices Inc.										
SSM2141	Дифференциальный приемник	1	2,5	±18	±10	±14,7	100	3 МГц, 9,5 В/мкс		0,001
SSM2143		0,5; 2	2,7	±15	±10	±14,7	90	7 МГц (K = 0,5), 15 В/мкс		0,0006
SSM2142	Дифференциальный передатчик	5,98	5,5	±18	-	±14,14	45	15 В/мкс		0,006 при 0,02...20 кГц

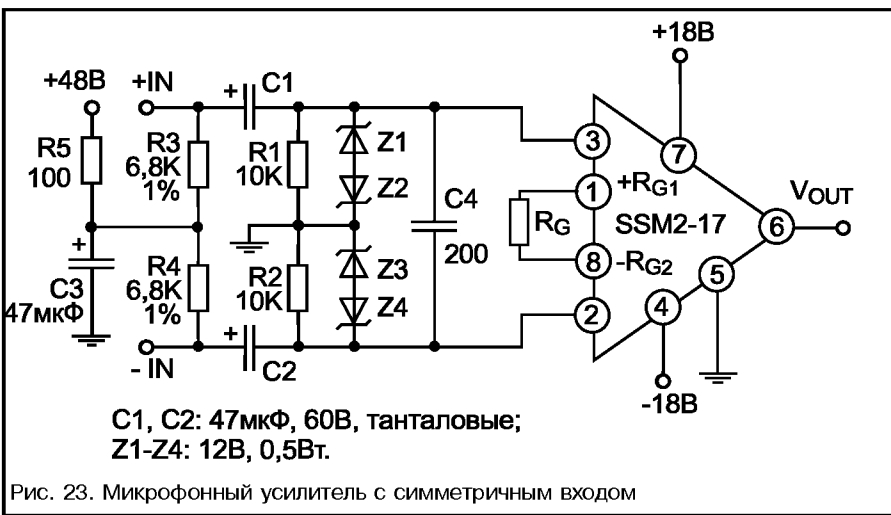


Рис. 23. Микрофонный усилитель с симметричным входом

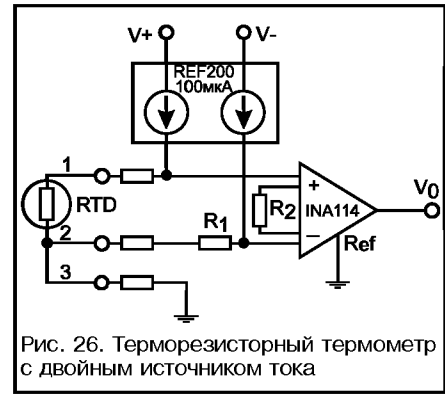


Рис. 26. Терморезисторный термометр с двойным источником тока

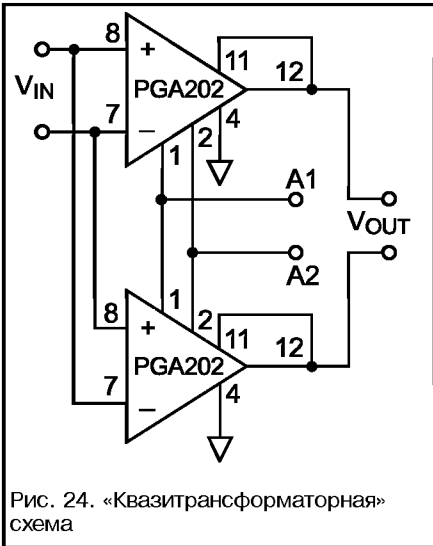


Рис. 24. «Квазитрансформаторная» схема

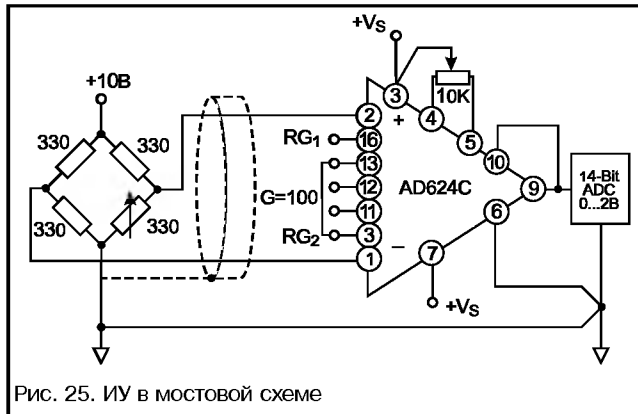


Рис. 25. ИУ в мостовой схеме

ренциальными. При этом получаются две петли обратной связи: одна для A1 и A2, которой обратная связь по выходному току не касается, и вторая, охватывающая A3 и обеспечивающая токовый выход. На преобразованиях «напряжение-ток» и «ток-напряжение» построен единственный широко распространенный аналоговый промышленный интерфейс «токовая петля 4...20 мА», для которого выпускается ряд специализированных ИС транзмиттеров (передатчиков) и приемников, в том числе и с гальванической изоляцией. Часто они имеют встроенные источники постоянного тока питания датчиков: прецизионные источники напряжения (ХТR110), либо двойные источники тока порядка 1 мА (ХТR101, ХТR103). Ряд транзмиттеров специализирован на конкретные применения. Например, ХТR103 (рис. 9), ориентированный на платиновые термометры сопротивления, имеет встроенную цепь линейаризации, в 40 раз улучшающую этот параметр. Компенсация нелинейности датчика достигается изменением обоих токов  $I_R$  (в мА) по закону  $0,8+500V_{IN}/R_{LIN}$ , где  $V_{IN}$  – входное напряжение (В),  $R_{LIN}$  – внешнее сопротивление линейаризации (Ом). В специализированном под мостовые датчики трансивере ХТR104 (рис. 10) линейаризация достигается изменением напряжения питания

моста согласно зависимости  $5+V_{LIN}K_{LIN}/R_{LIN}$  где  $V_{LIN}$  – напряжение между входами транзмиттера (В),  $K_{LIN}$  – конструктивная постоянная ИС,  $R_{LIN}$  – внешнее сопротивление линейаризации (Ом).

**Работа с высокоомными источниками сигнала, входные цепи и экранирование.** Необходимо помнить, что во всех случаях должны существовать цепи, по которым могут замыкаться постоянные составляющие входных токов. При низкоомных источниках, таких как термопары, тензометрические и терморезисторные мосты, проблем нет. При трансформаторном входе со средней точкой обмотки она заземляется, при отсутствии ее – заземляется искусственная средняя точка, образованная двумя резисторами, каждый

из которых подключен к одному из входов ИУ. Также включаются источники с емкостной связью или емкостным характером импеданса, например, пьезодатчики. Следует обращать внимание на симметрию этих делителей тем больше, чем выше их сопротивление. В некоторых случаях, например, для компенсации смещения, образующегося вследствие разности выходных токов при высокоомных входных цепях, необходима подстройка их отношения.

Чувствительные входные цепи, особенно высокоомные, для защиты от внешних помех требуют экранирования, а иногда, для снижения утечек на входы и наличия окружающих помех – защитных контуров на печатной плате. Лучше всего их подключать к возможно более близким им по напряжению точкам низкоомных цепей. В «классической» схеме на трех ОУ (рис. 4) это инвертирующий вход соответствующего входного ОУ А1 или А2, куда подключается резистор  $R_G$ , устанавливающий усиление, что использовано в схеме РН-метра (рис. 29). Поскольку емкости входов на землю образуют с высоким сопротивлением источника сигнала фильтры низких частот, такое экранирование, снижающее упомянутые ем-

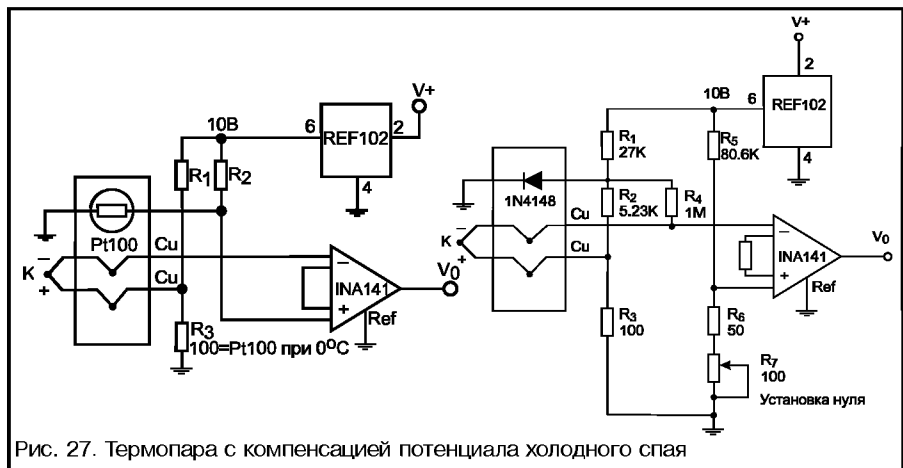


Рис. 27. Термопара с компенсацией потенциала холодного спая

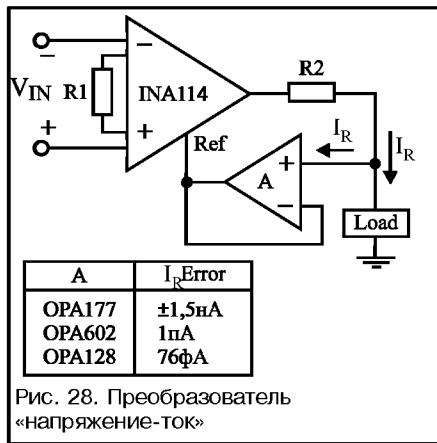


Рис. 28. Преобразователь «напряжение-ток»

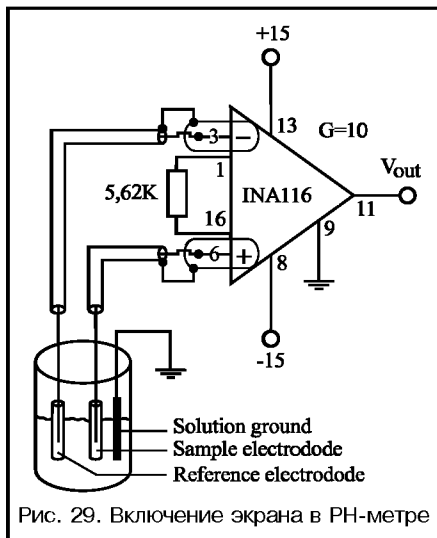


Рис. 29. Включение экрана в PH-метре

кости, расширяет полосу пропускания и может увеличить CMMR за счет снижения влияния их асимметрии. В ряде случаев, например, в ИУ с установкой усиления переключкой или программно, выводы подключения  $R_G$  недоступны, и приходится использовать делитель из двух равных резисторов, подключенных к выходам A1 и A2, создающий потенциал середины  $R_G$ . Это несколько хуже, но при усилении первого каскада более 10 несущественно. Аналогичным образом к средней точке  $R_G$  подключается экран витой пары. При необходимости эффективной работы на высоких частотах для быстрой перезарядки емкости экрана необходим большой ток, и его приходится подключать через дополнительный буфер. Во входной цепи электрокардиографа (рис. 30) экранирующая оболочка включена через буфер-повторитель. Обратная связь по синфазному сигналу через левую ногу пациента, потенциал которой должен компенсировать входной синфазный сигнал, равный напряжению на средней точке  $R_G$ , подана через большой огра-

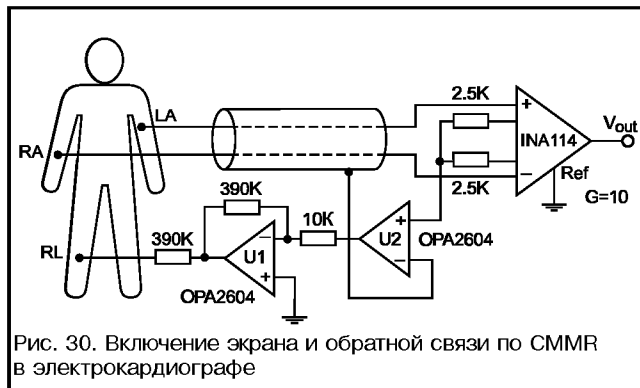


Рис. 30. Включение экрана и обратной связи по CMMR в электрокардиографе

нительный резистор по соображениям безопасности. Для повышения ее эффективности имеется дополнительный буфер, но уже с усилением. Аналогично через большие резисторы могут подключаться и экраны.

**Валерий Авербух,**  
206vniims@vniiofi.ru

# Применение микросхемы BQ2004 в зарядных устройствах

Существует несколько различных методов заряда никель-кадмиевых (NiCd) и никель-металлгидридных (NiMH) аккумуляторов. Их можно разделить на три основные группы: стандартный, быстрый и ускоренный.

**С**тандартный заряд – это заряд постоянным током, равным 1/10 величины номинальной емкости аккумулятора, в течение примерно 15 часов. Этот метод заряда является самым безопасным для любого аккумулятора и продлевает срок его службы. Во время заряда наблюдается повышение напряжения на элементах аккумулятора. По окончании заряда и при перезаряде оно немного уменьшается.

При быстром заряде используется ток заряда от 0,3 до 1,0С и более. Заряд происходит в течении примерно 5 часов. В этом случае очень важно, чтобы аккумулятор перед зарядом был полностью разряжен. Зарядные устройства, обеспечивающие быстрый заряд, начинают зарядный цикл с разряда аккумулятора, для того чтобы затем зарядить его до полной емкости. Этот метод заряда имеет тенденцию к перегреву аккумулятора, особенно при заряде током, близким к 1С.

Ускоренный, или минус дельта V (–ΔV), заряд – это заряд с начальным током заряда, равным величине номинальной емкости аккумулятора, при котором постоянно измеряется напряжение на аккумуляторе. Процесс заканчивается после того, как аккумулятор полностью заряжен. Метод –ΔV заряда считается одним из лучших для заряда NiCd и NiMH аккумуляторов. В его основе лежит принцип измерения величины изменения напряжения на аккумуляторе в процессе зарядки. Если измерять его на выводах аккумулятора в течение всего процесса, то можно заметить, что напряжение медленно повышается. В момент полного заряда напряжение на элементе будет кратковременно снижаться. Величина такого снижения небольшая, но явно выражена. Из-за малого значения –ΔV зарядное устройство должно иметь температурные датчики в качестве резервного средства для определения времени конца заряда. При достижении полного заряда температура резко повышается и достигает разницы с температурой окружающей среды в 10°C и более.

В настоящее время рынок предлагает самые разнообразные зарядные устройства для заряда NiCd и NiMH аккумуляторов. Одним из интересных решений является построение такого зарядного устройства на основе выпускаемой фирмой Unitrode микросхемы быстрого заряда BQ2004.

Микросхема BQ2004 обеспечивает:

- быстрый заряд NiCd и NiMH батарей;

управления зарядным устройством для снижения потребляемой мощности в режиме ожидания (ток, потребляемый в режиме ожидания, равен всего 5 мкА).

Микросхема быстрого заряда обеспечивает сбалансированный управляемый быстрый заряд посредством использования быстройдействующей схемы управления цепью заряда. Благодаря схеме управления током заряда, микросхему BQ2004 можно использовать как основу для изготовления зарядных устройств для элементов и батарей аккумуляторов.

Принудительный цикл “разряд перед зарядом” способствует увеличению срока эксплуатации батарей и позволяет восстановить их емкость, которая в процессе эксплуатации снижается из-за электрохимических процессов. В микросхеме BQ2004 применен ШИМ контроллер с гистерезисом, обеспечивающий автоматическую регулировку зарядного тока. Безопасность работы зарядного устройства на основе BQ2004 обеспечивается специальной схемой контроля. При этом заряд невозможен, если температура аккумуляторной батареи или напряжение на ней выходят за установленные пределы. При оценке времени конца заряда учитываются следующие факторы:

- скорость возрастания температуры  $\Delta T/\Delta t$ ;
- пиковое напряжение конца заряда (PVD);
- отрицательное дельта напряжение (–DV);
- максимальное напряжение на батарее;
- максимальная температура батареи;
- максимальное время заряда.

Микросхема BQ2004 выпускается в 16-контактных корпусах DIP (BQ2004PN) или SOIC (BQ2004SN). На рис. 1 показано расположение выводов

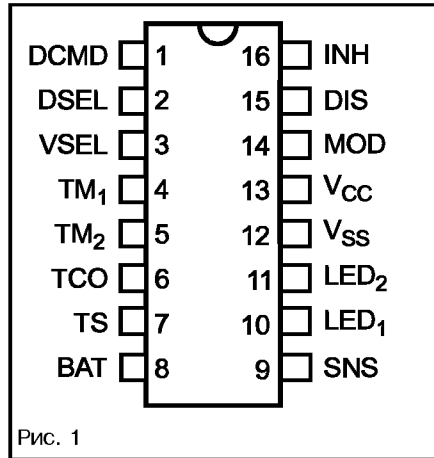


Рис. 1

- стабилизацию зарядного тока посредством широтно-импульсной модуляции (ШИМ);
- простоту использования для работы как в составе оборудования системы, так и автономно;
- дозарядную оценку температуры и напряжения аккумуляторной батареи;
- конфигурируемые светодиодные выходы для индикации состояния батареи и процесса заряда;
- прекращение заряда на основании принципа определения –ΔV и измерения температуры в конце заряда;
- оптимальный режим импульсной подзарядки по окончании заряда аккумуляторной батареи;
- формирование логического уровня

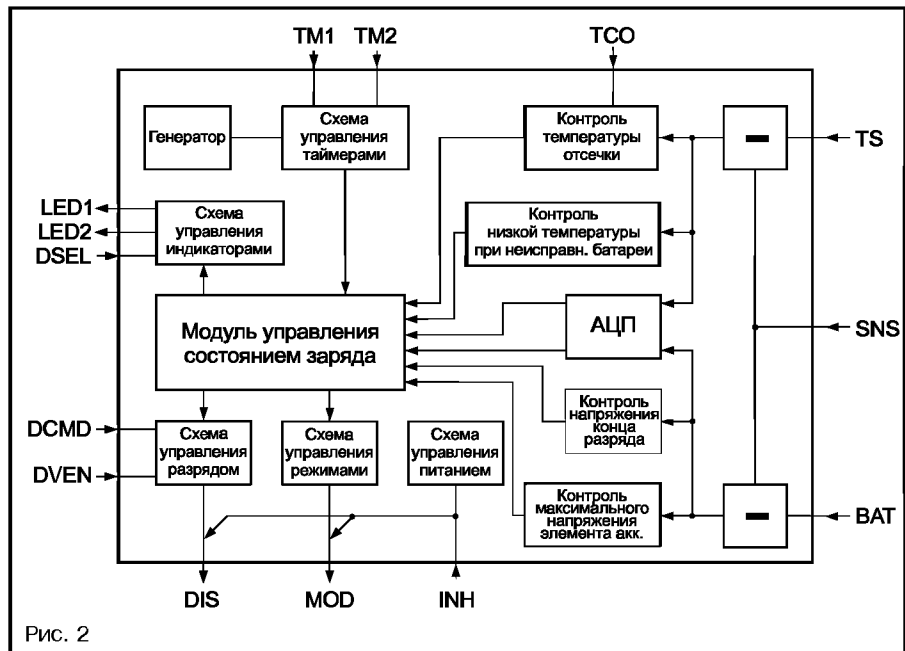


Рис. 2

микросхемы.

Назначение выводов:

- DCMD – команда на разряд;
- DSEL – выбор дисплея;
- VSEL – выбор напряжения нагрузки;
- $TM_1$  – выбор режима первого таймера;
- $TM_2$  – выбор режима второго таймера;
- TCO – термоотключение;
- TS – датчик температуры;
- BAT – напряжение батареи;
- SNS – вход подключения резистора датчика;
- $LED_1$  – выходной сигнал 1 индикации состояния заряда;
- $LED_2$  – выходной сигнал 2 индикации состояния заряда;
- $V_{SS}$  – земляная шина;
- $V_{CC}$  – шина питания напряжением 5,0 В  $\pm 10\%$ ;
- MOD – вывод контроля тока заряда;
- DIS – вывод управления разрядом;
- INH – вывод входного сигнала запрета заряда.

Познакомимся с назначением некоторых выводов микросхемы более подробно. На рис. 2 представлена структурная схема BQ2004.

Вывод DCMD служит для выполнения операции “разряд перед зарядом”. Если на него поступает отрицательный импульс, то начинается процесс разряда батареи до напряжения конца разряда, которое снимается с вывода BAT. После того как напряжение на батарее достигнет этой величины, автоматически начинается процесс заряда. Соединение вывода DCMD с общим проводом приводит к запуску нового цикла разряд-заряд.

Вывод DSEL предназначен для работы схемы индикации зарядного устройства. В зависимости от уровня напряжения на нем, изменяется режим индикации светодиодов LED1 и LED2 (таблица 1). Вывод VSEL в зависимости от уровня напряжения на нем определяет режим отключения напряжения заряда. При уровне, равном логической 1, активен режим отключения по достижению пикового напряжения батареи. При плавающем уровне активен режим отключения по  $-DV$ . Если же уровень на этом выводе равен логическому 0, то оба режима отключения неактивны.

$TM_1$ ,  $TM_2$  – входы управления таймером. В зависимости от уровня напряжения на этих выводах определяются основные режимы заряда батареи, ток заряда, определяемый относительно емкости батареи C, и время заряда (таблица 2).

Вывод TCO обеспечивает установку максимально допустимой температуры аккумуляторной батареи. Если потенци-

Таблица 1

Режим	Состояние процесса заряда	Уровень напряжения на светодиодах	
		LED1	LED2
DSEL = $V_{SS}$	Батарея отсутствует	0	0
	Быстрый заряд не начат или идет процесс разряда перед зарядом	1	1
	Быстрый заряд	0	1
	Заряд завершен, батарея отключена или подзаряжается импульсами тока	1	0
DSEL = плавающее состояние	Батарея отсутствует, идет быстрый заряд, или он закончен	0	0
	Ожидание быстрого заряда	1	0
DSEL = $V_{CC}$	Разряд	0	1
	Процесс заряда перед разрядом	1	1
	Батарея отсутствует	0	0
	Быстрый заряд не начат или идет процесс разряда перед зарядом	0	1/8с – 1
DSEL = $V_{CC}$	Быстрый заряд	0	1
	Заряд завершен, батарея отключена или подзаряжается импульсами тока	1	0

Таблица 2

Ток быстрого заряда	$TM_1$	$TM_2$	Время безопасного быстрого заряда, мин	Время удержания по достижении пикового напряжения или $-DV$ , с	Ток конца заряда	Ток подзарядки импульсами	Частота импульсов подзарядки, Гц
C/4	0	0	360	137	–	–	–
C/2	плав.	0	180	820	–	C/32	240
1C	1	0	90	410	–	C/32	120
2C	0	плав.	45	200	–	C/32	60
4C	плав.	плав.	23	100	–	C/64	30
C/2	1	плав.	180	820	C/16	C/64	120
1C	0	1	90	410	C/8	C/64	60
2C	плав.	1	45	200	C/4	C/64	30
4C	1	1	23	100	C/2	C/64	15

ал между выводами TS и SNS меньше потенциала на выводе TCO, процесс быстрого заряда или подзарядки по окончании заряда прекращается.

Вывод TS служит для подключения внешнего температурного датчика (термистора) для мониторинга (слежения) температуры батареи. Термистор устанавливается внутри корпуса батареи.

Вывод SNS предназначен для управления переключением состояния уровня на выводе MOD. Потенциал на выводе SNS является опорным по отношению к выводам TS и BAT. Если вывод SNS соединен с общим проводом ( $V_{SS}$ ), на выводе MOD устанавливается высокий уровень в начале заряда и низкий – в конце. То есть высокий уровень на выводе MOD разрешает протекание полного тока заряда, а низкий – его ограничивает.

Напряжение на выводе DIS управляет внешним транзистором, обеспечивающим режим разряда аккумуляторной

батареи.

Низкий уровень на выводе INH приостанавливает процесс заряда на любом его этапе. При перепаде этого уровня с логического 0 на 1 начинается новый цикл заряда.

Как было сказано выше, для определения времени окончания заряда батареи необходимо контролировать параметры: напряжение конца заряда, температуру батареи,  $-DV$  (кратковременное снижение напряжения на элементах батареи в конце заряда) и пиковое напряжение на батарее. Для мониторинга напряжения на батарее используют делитель напряжения, подключенный к самой батарее и выводам BAT и SNS микросхемы BQ2004 (рис. 3а). Общее сопротивление делителя должно составлять не менее 200 кОм и не более 1 МОм. При этом соотношение сопротивлений резисторов RB1 и RB2 должно определяться формулой:

$$\frac{RB1}{RB2} = \frac{N}{2} - 1,$$

где N – число элементов в батарее.

Для мониторинга температуры батареи служит резистивная цепь (рис. 3б), в которой используется термистор с отрицательным ТКС.

Мониторинг  $-\Delta V$  производится путем проверки каждые 34 с напряжения на выводе BAT. Разница  $-\Delta V$  составляет примерно 6 мВ на элемент батареи. Пиковое напряжение в конце заряда превышает напряжение конца заряда из расчета около 3 мВ на элемент батареи. Эти два режима мониторинга включаются принудительно, в зависи-

мости от уровня напряжения на выводе VSEL. При низком уровне мониторинг  $-\Delta V$  и пикового напряжения отключен. При плавающем уровне включен режим мониторинга  $-\Delta V$ , а при высоком – пикового напряжения конца заряда.

Цикл заряда батареи начинается, если:

- напряжение  $V_{CC}$  превысило значение 4,5 В (т. е. включение зарядного устройства при установленной батарее);
- напряжение на элементе батареи ниже максимального (т. е. напряжения полностью заряженного элемента);
- на выводе INH имеет место перепад уровня с низкого на высокий.

Допустимое напряжение на аккумуляторной батарее лежит в пределах

$$V_{EDV} < V_{BAT} < V_{MCV}$$

$$V_{MCV} = 0,8 \cdot V_{CC} \pm 30 \text{ мВ},$$

$$V_{EDV} = 0,4 \cdot V_{CC} \pm 30 \text{ мВ}.$$

В качестве примера приведем практически используемую схему зарядного устройства для NiCd и NiMH аккумуляторных батарей на основе микросхемы BQ2004

(рис. 4). Такое зарядное устройство поставляется в комплекте радиотелефонных удлинителей SENA0 SN-868R и ПАУД.

**Дмитрий Садченков,**  
pierce\_arrow@mtu-net.ru

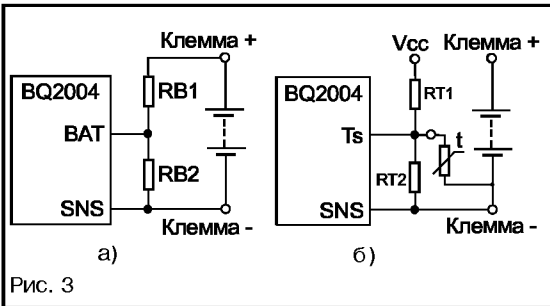


Рис. 3

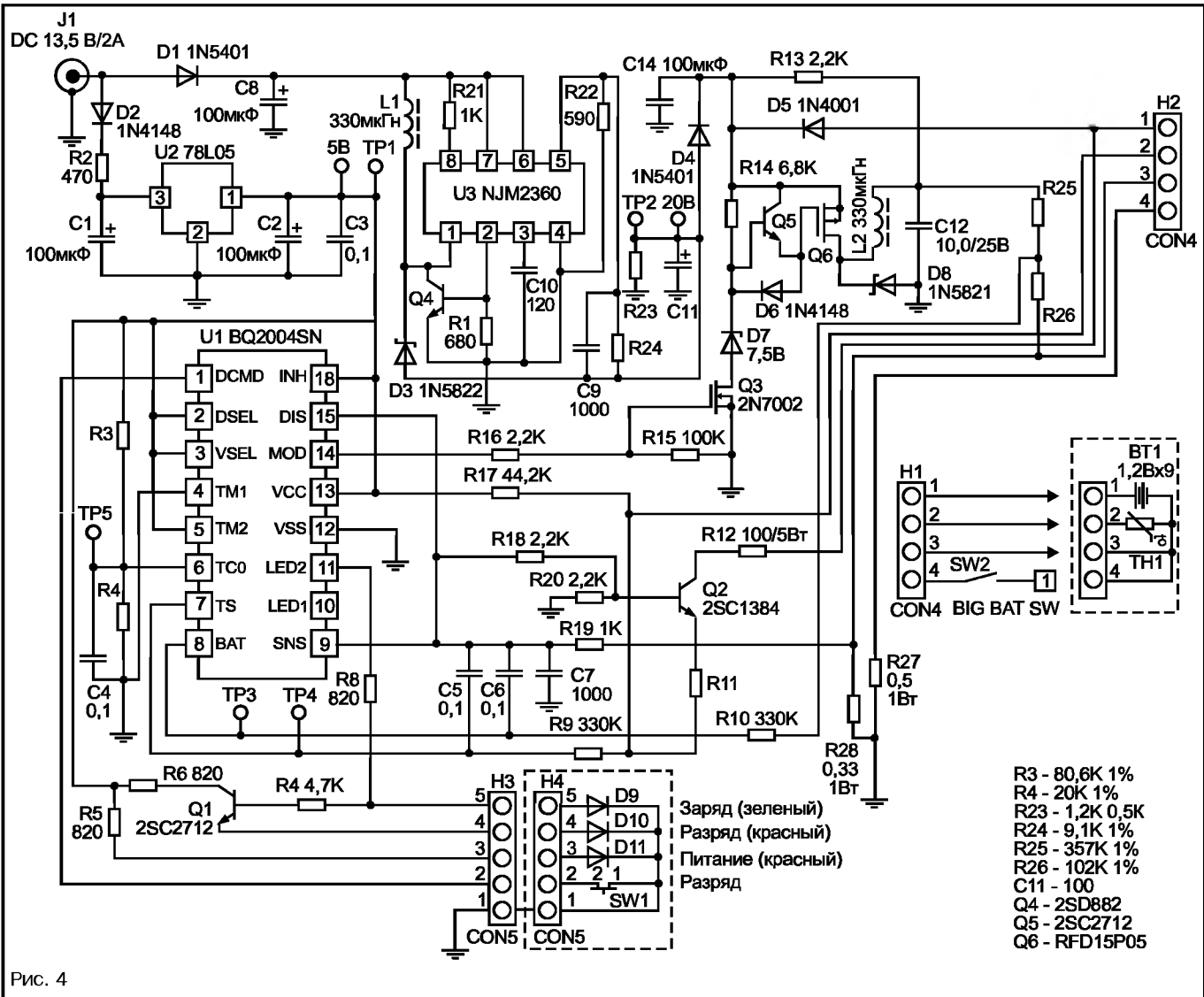


Рис. 4

- R3 - 80,6K 1%
- R4 - 20K 1%
- R23 - 1,2K 0,5K
- R24 - 9,1K 1%
- R25 - 357K 1%
- R26 - 102K 1%
- C11 - 100
- Q4 - 2SD882
- Q5 - 2SC2712
- Q6 - RFD15P05

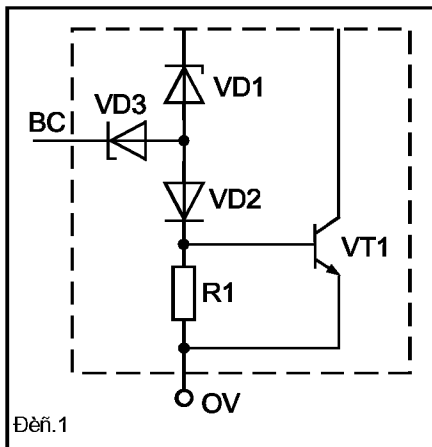
# Простая схема двухпорогового звукового термосигнализатора

*Повышение температуры окружающей среды или какого-либо предмета (например, жала паяльника или электронного прибора) более допустимого уровня может вызвать нежелательные последствия. Очень часто важно определить момент достижения опасного предела. Во многих практических случаях поможет электронный прибор – индикатор перегрева, или термосигнализатор. Он предупредит звуковым сигналом о достижении заданного значения температуры.*

Достаточно простой индикатор перегрева может быть выполнен на микроконтроллере КР1436АП1. Встречаясь с этой интересной микросхемой ранее [1, 2], удалось выяснить не только ее функциональную схему, но и электрические параметры внутренних узлов. Тем не менее, знакомство с этой микросхемой может быть продолжено. Остановимся на схеме управления питанием с гистерезисом. Этот узел обеспечивает режимы и стабилизирует работу остальных частей микросхемы. В связи с тем что основное назначение микросхемы – работа от телефонной сети, где присутствуют достаточно сильные помехи, в узле питания предусмотрен гистерезис. Включение микросхемы происходит при питающем напряжении 17–21 В (запускающее напряжение), а выключение – при снижении его до 9,7–12 В (удерживающее напряжение). Это основное режим, он обеспечивается при неподключенном выводе 2, который может быть использован для уменьшения величины запускающего напряжения. На рис. 1 показана часть схемы управления питанием, по которой можно представить ее работу. В основном режиме микросхема включается при запускающем напряжении, определяемом напряжением пробоя стабилитрона VD1 (то есть 17–21 В). К выводу 2 подключен стабилитрон VD3 с напряжением пробоя около 8 В. Следовательно, если соединить вывод 2 с входом питания 1 (естественно, через ограничивающий резистор), то запускающее напряжение будет составлять величину около 10 В. Через вывод 2 должен подаваться ток в пределах 0,01–1 мА, а минимальная величина последовательного сопротивления должна быть не менее 20 кОм. Отметим одну важную особенность: при напряжении питания выше 11 В можно управлять генерацией микросхемы путем подачи смещения на стабилитрон VD3. Таким образом, вывод 2 является дополнительным выключателем.

Двухпороговый звуковой индикатор превышения температуры с использованием отмеченных выше особенностей микросхемы КР1436АП1 может быть выполнен по схеме на рис. 2. В качестве термочувствительного элемента применен терморезистор R2 типа ММТ-1.

Перед тем как рассмотреть работу индикатора, обратим внимание на отличие от общепринятой схемы включения [1], которое заключается в том, что с помощью транзистора VT3 получается генератор однотонального сигнала. Действительно, при работе микросхемы выход первого (низкочастотного) триггера Шмитта (R1) воздействует через VT3 на вход второго триггера Шмитта (RC2). Таким образом, когда на выходе R1 напряжение высокого уровня (лог. 1),



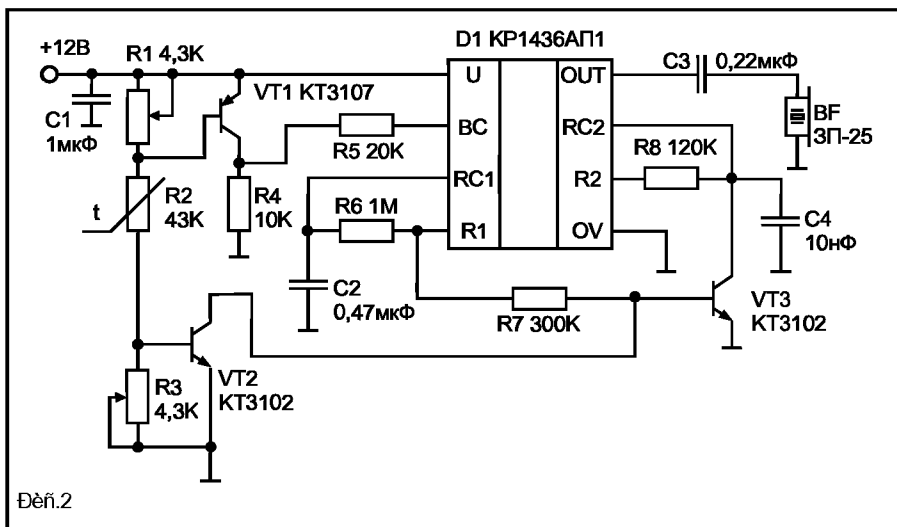
транзистор открывается и шунтирует конденсатор C4 (или вход RC2). В этот период времени генерации звукового сигнала не происходит. Далее, при переходе выхода R1 в открытое состояние (на выходе логический 0), транзистор закрывается и генератор на втором триггере Шмитта вырабатывает пачку импульсов (на выходе R2). Звуковой однотональный сигнал прерывается и

морезистор типа ММТ-1 уменьшает свое сопротивление, так как имеет отрицательный температурный коэффициент сопротивления (ТКС). Таким образом, ток в цепи R1–R3 увеличивается. Соответственно растет, смещение между базой и эмиттером транзистора VT1; при достижении заданного порога он открывается, потенциал его коллектора растет, и резистор R5 оказывается подключенным к плюсу питания. Это приводит к включению микросхемы, как было показано выше. Индикатор издает однотональный прерывистый сигнал (более низкой частоты  $f_1$ ), так как транзистор VT2 пока закрыт и не влияет на VT3. Если температура продолжает увеличиваться, что, соответственно, приводит к дальнейшему росту тока в цепи датчика температуры, то напряжение смещения между базой и эмиттером транзистора VT2 достигает еще одного (второго) заданного порога, и он открывается, а цепь его коллектора выключает VT3. Звуковой сигнал становится двухтональным – добавляется более высокая частота  $f_2$ . Таким образом, индикатор перегрева сигнализирует о превышении второго порога температуры.

Следует отметить, что регулировкой частоты  $f_2$  до получения резонанса пьезоизлучателя BF можно значительно повысить громкость звука при достижении более высокой (и опасной) температуры. Нижний предел срабатывания индикатора перегрева (первый порог температуры) устанавливается резистором R1, а верхний (второй порог) – резистором R3.

Применение в качестве термочувствительного элемента терморезистора типа ММТ-1 имеет свои преимущества и недостатки. Однако в данной схеме, при таком включении термозависимой цепи требуется стабильное напряжение питания.

**Игорь Кольцов,**  
shemotech@mtu-net.ru



напоминает звук “бип-бип”. Если базу VT3 закоротить на землю с помощью управляющего сигнала, то его влияние на второй генератор устраняется и происходит генерация двухтонального сигнала.

В целом индикатор превышения температуры работает следующим образом. Повышение температуры, например, окружающего воздуха, воздействует на датчик температуры – терморезистор. Тер-

## Литература

1. И. Л. Кольцов. Дверной звонок из старого телефона. – “Схемотехника”, № 1/2001.
2. И. Л. Кольцов. Логический пробник со звуковой индикацией. – “Схемотехника”, № 3/2001.

## Программное обеспечение анализа тепловых режимов печатных плат BetaSoft-Board

Возможно послойное задание теплопроводности как металлизированных, так и диэлектрических участков платы, доли металлизированных участков во всей поверхности платы, а также предельных температур корпусов и кристаллов компонентов.

Команда Local Property позволяет задать свойства локального участка платы.

Команда Cut Out позволяет задать вырезы в плате, а команда Trim Corner – скруглить углы.

Команды меню Placement позволяют разместить на плате компоненты (команда Component, рис. 10), радиаторы (Heat Sinks) и крепежные винты (команда Screws).

Команда Shift Components (рис. 11) сдвигает все компоненты на заданное расстояние по вертикали и горизонтали.

Меню Environment предназначено для задания свойств среды анализа. Границы платы задают с помощью команды Boundary, а условия анализа – с помощью команды Conditions (рис. 12). Возможно задание температуры и давления окружающего воздуха, условий принудительного охлаждения, ориентации плат, коэффициентов эффективности теплоотдачи и т.п. Кроме того, в этом же меню определяются характеристики алгоритма расчета.

Моделирование выполняется с помощью команды Analyze/Run.

Следует заметить, что многие часто используемые команды имеют пиктограммы, а развитая система помощи позволяет подготовленному пользователю быстро освоить программу.

Автор благодарит Грегори Лаззаро (Gregory G. Lazzaro) из Dynamic Soft Analysis, Inc за предоставленную демонстрационную версию и материалы по программе BetaSoft.

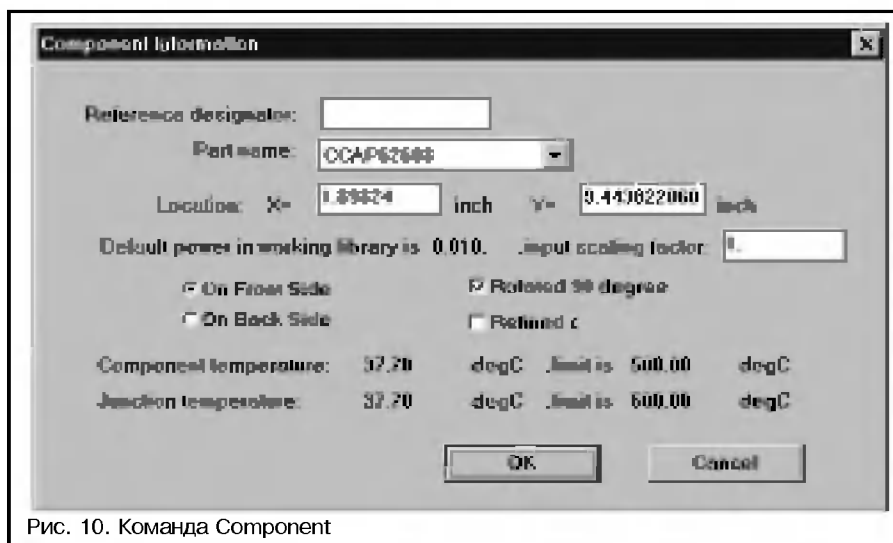


Рис. 10. Команда Component

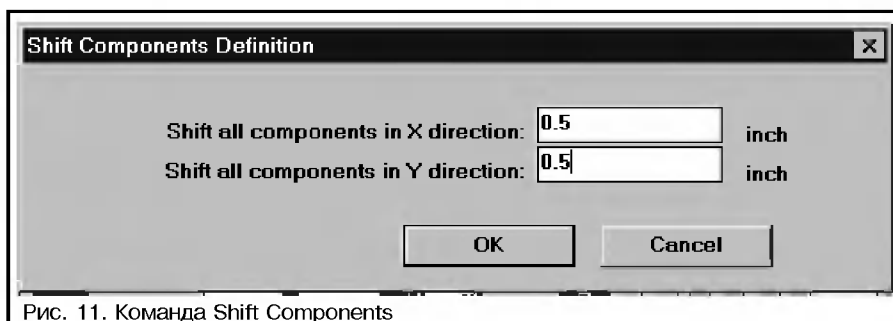


Рис. 11. Команда Shift Components

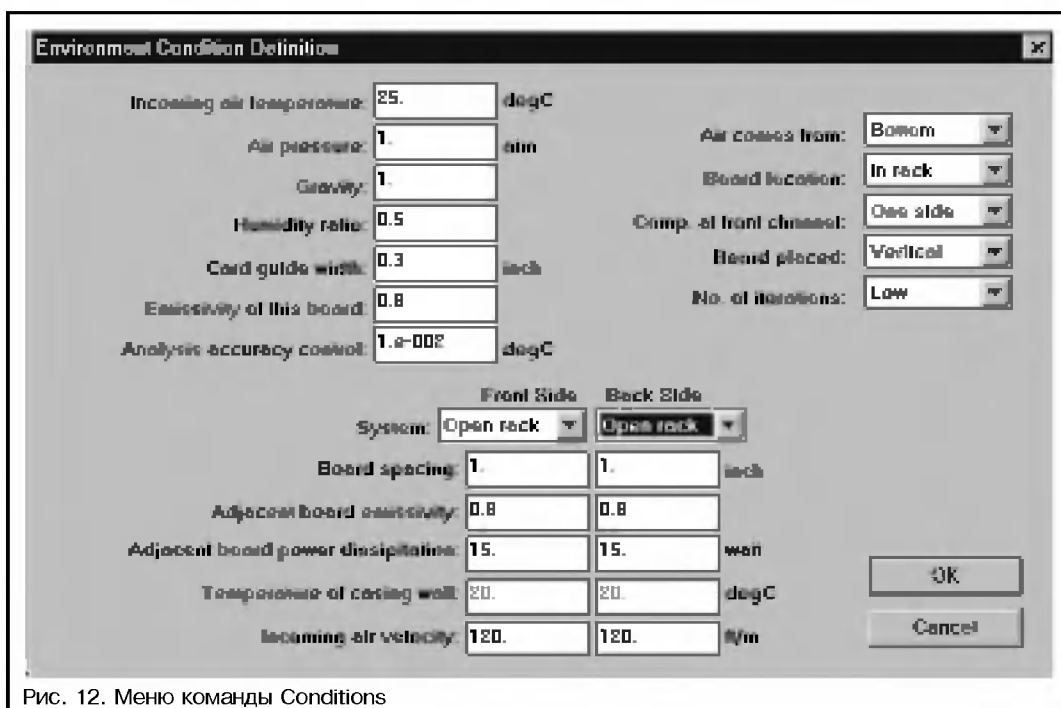


Рис. 12. Меню команды Conditions

## Verilog – инструмент разработки цифровых электронных схем

### Параметры

При описании цифровых схем возникает необходимость задания констант, определяющих какие-либо фиксированные параметры. Эти константы могут описывать характерные задержки, ширины шин или любой другой параметр, не изменяющийся во время симулирования модели и известный на момент компиляции. Но в то же время, при использовании модели одного и того же модуля в различных технологических условиях или включении его различным образом в модули высшего уровня, данные константы должны иметь возможность изменяться. В языке VHDL данную функцию решают с помощью конструкции generic. В Verilog для этого используются параметры, то есть в описании модуля, наряду с описанием переменных и сигналов, могут описываться и параметры:

```
module parity (bus, out);
  parameter width=8, typ_delay=1,
  modul_delay=typ_delay*2;
  wire [width-1:0] bus;
  wire out;
  assign #modul_delay out=~bus;
endmodule
```

Данный модуль описывает логику генерации бита четности и может применяться с различной шириной шины и различными задержками. При подключении модуля может сообщаться либо типовая задержка (по которой вычисляется задержка модуля), либо задержка модуля (в случае, когда моделируется нетипичная ситуация).

Включать модуль в иерархию можно следующим образом:

```
parity U1(bus1,out1); // будут использованы значения по умолчанию (width=8, typ_delay=1, modul_delay=typ_delay*2)
parity #(4, 0.5) U2(bus2,out2); // ширина шины – 4 бита, типовая задержка 0.5 (задержка в модуле 0.5*2=1)
parity #(16, 1, 5) U3(bus3,out3); // ширина шины – 16 бит, типовая задержка 1 (игнорируется), задержка в модуле 5
```

Иными словами, конструкция #(фактический параметр, фактический параметр, ...) соответствует конструкции map generic языка VHDL. Может возникнуть путаница между конструкциями временного контроля и параметрами, но, во-первых, временной контроль и привязка параметров происходит в разных конструкциях языка, и по контексту видно значение знака #, а во-вторых, параметры, как правило, определяют временные задержки внутри модуля. Кроме такого механизма установки параметров, существует механизм defparam и иерархические имена, позволяющие

сгруппировать все фактические параметры в модулях в одном месте вышестоящего модуля. То есть пример можно переписать следующим образом:

```
module top; //модуль верхнего уровня
...
parity U1(bus1,out1);
parity U2(bus2,out2);
parity U3(bus3,out3);
...
defparam
top.U2.width=4;
top.U2.typ_delay=0.5;
top.U3.width=16;
top.U3.modul_delay=5;
endmodule
```

Так как при описании параметров могут употребляться выражения, данный механизм обеспечивает возможность гибкого повторного использования кода. Следует, однако, помнить, что не всякий синтез поддерживает иерархические имена и defparam, поэтому нужно пользоваться первым механизмом для написания синтезируемого кода.

### Препроцессор языка Verilog (директивы компилятора)

Наряду с механизмом параметров, описанным выше, в языке Verilog существует механизм, сходный с текстовым препроцессором языка C. Этот механизм (по аналогии с C назовем его препроцессором) позволяет проводить предварительную обработку текста до того, как данные будут обработаны симулятором или средством синтеза. Данный механизм обеспечивает условную компиляцию, выполнение макроподстановок, интерфейс с внешней средой. Аналогом условной компиляции Verilog является конструкция if-generate языка VHDL. Для работы препроцессора, а также других директив компилятора, используется символ апострофа “'” (не путать с кавычкой в литералах). Наиболее часто применяемые директивы препроцессора – `define, `include, `ifdef, `else, `endif. Таким же образом задаются директивы компилятора, не являющиеся директивами препроцессора, например `timescale.

Для включения текста из одного файла в другой используется `include “Имя\_Файла” (например, `include “dumppins.v”). Следует помнить, что Verilog модули не могут вставляться внутри модуля (не могут быть вложенными), поэтому `include можно использовать либо вне модуля, либо включать в модуль код, не содержащий модулей (module... endmodule).

Использование `define для описания текстового макроса можно проиллюстрировать таким образом:

```
`define nc @(negedge clk)
```

Далее в коде программы данный макрос может использоваться следующим образом: always `nc ... или a<=`nc b.

Пример директив условной компиляции может быть следующим:

```
`ifdef test0
`define CPUTEST0
`include “fault/test0”
`else
`define CPUTEST1
`include “fault/test1”
`endif
```

Так как определить макрос можно из командной строки компилятора (опция +define+\_NAME\_), то данный механизм позволяет использовать конфигурационные скрипты. В настоящее время существуют средства синтеза как не поддерживающие препроцессор (старые или недоделанные версии), так и расширяющие стандартный набор директив. Например, средство синтеза может поддерживать директиву `for, что позволяет реализовать конструкцию for-generate языка VHDL.

### Конструкции, применяемые для симулирования библиотечных ячеек

Данная статья направлена на то, чтобы осветить поведенческое моделирование и написание такого поведенческого кода, который может быть синтезирован средством синтеза. Кроме этого, в языке существуют predefined модули, которые могут быть использованы как структурные элементы нижнего уровня. Однако некоторые из них практически никогда не используются, поскольку они неприменимы для задач разработки СБИС или ПЛИС. Это, например, описания транзисторных ключей: nmos, pmos, rmos, rmos, smos, cmos, rcmos.

Также существуют predefined логические ячейки: and, nand, nor, or, xor, xnor, buf, not, bufif0, bufif1, notif1, notif0. Они совпадают по названию с булевыми функциями и являются двухходовыми элементами, выполняющими соответствующую функцию: not – инвертор, buf – буфер. Последние четыре элемента имеют вход разрешения и состоящие высокого импеданса (z). Но так как любой из этих элементов может быть описан с использованием операторов языка, то смысл применения данных конструкций определяется предпочтением разработчика.

Например, and U1(out,in1,in2) то же самое, что и out=in1&in2; bufif1 U2(out, in, control) и то же самое, что и ee out=control?in:1'bz.

Следует заметить, что для облегчения записи элементы могут подключаться на шину или иметь неименованные включения (instance), но все же использование операторов кажется предпочтительнее, а результат синтеза или поведение модели будут в обоих случаях одинаковыми.

Для моделирования библиотечных элементов может применяться табличный механизм UDP (User Defined Primitive). Это несинтезируемая конструкция, похожая по описанию на модуль, но

подчиняющаяся более строгим правилам. Назначение UDP – моделировать логику, заданную таблицей истинности. При этом с помощью UDP можно описывать как комбинаторную, так и последовательную логику. UDP может иметь только один выход.

```
primitive and_or(out, a1,a2,a3, b1,b2);
output out;
input a1,a2,a3, b1,b2;
table
//state table information goes here
...
endtable
endprimitive
```

Как видно, основным элементом UDP является таблица истинности. Ее элементы могут принимать значения представленные в таблице 1.

Количество пробельных символов в описании таблицы не играет роли, важен порядок. Пример комбинаторного UDP (мультиплексора):

```
primitive
multiplexer(mux,control,dataA,dataB);
output mux;
input control, dataA, dataB;
table
// control dataA dataB mux
0 1 ? : 1; // ? = 0, 1, x
0 0 ? : 0;
1 ? : 1;
1 ? 0 : 0;
x 0 0 : 0;
x 1 1 : 1;
endtable
endprimitive
```

Пример последовательного UDP:

```
primitive srff (q,s,r);
output q;
inputs r;
reg q;
initial q = 1'b1; // initial statement
specifies that output
// terminal q has a value of 1 at the start
// of the simulation
table
// s r q q+
1 0 : ? : 1;
f 0 : 1 : -;
0 r : ? : 0;
```

Таблица 1

0	Логический 0	
1	Логическая 1	
x	Не определено	
?	Любое значение из 0, 1 и x	Не может использоваться в качестве выходного значения
b	Итерация 0 и 1	Не может использоваться в качестве выходного значения
–	Без изменения	Может использоваться на выходе только последовательного UDP
(vw)	Значение, изменяющееся от v до w	v и w могут быть 0, 1, x, ? или b
*	То же, что и ??	Любое изменение значения на входе
г	То же, что и 01	Прямой фронт на входе
f	То же, что и 10	Обратный фронт на входе
p	Итерация (01), (0x) и (x1)	Положительный фронт на входе
n	Итерация (10), (1x) и (x0)	Отрицательный фронт на входе

```
0 f : 0 : -;
1 1 : ? : 0;
endtable
endprimitive
```

### Синтезируемое подмножество языка

Прежде чем вести разговор о синтезируемом подмножестве языка следует остановиться на общих принципах разработки СБИС или ПЛИС с использованием языков высокого уровня. Производитель микросхемы ПЛИС или фабрика, производящая СБИС, предоставляет модель библиотечных элементов, которые могут быть использованы в схеме. Эти библиотеки предназначены для использования в различных областях проектирования (моделирование, синтез, топология кристалла и т. д.) и могут быть выполнены в различных форматах. Один из форматов представляет собой библиотеку элементов, описанных на языке высокого уровня и предназначенных для моделирования. В данной библиотеке содержатся элементы, описанные посредством несинтезируемых конструкций. В описании библиотечных элементов встречаются не рассмотренные в статье конструкции для описания сквозных задержек распространения (path delay) и механизмы контроля временных параметров (setup, hold time). Сквозные задержки позволяют описать задержку модуля, не вдаваясь в его внутреннюю структуру, и поддерживаются специальными словами языка (specify, spersparam, endspecify) и специальным синтаксисом (например, (a,b,c\*>x,y,z) = Tin; (d+=>x) = Tout;). А системные функции контроля используются для проверки того, происходят ли изменения сигналов в нужные моменты времени, например, для того чтобы последовательная логика не попадала в метастабильное состояние. Мы не останавливались подробно на этих элементах, поскольку пользователю средств синтеза не нужно описывать библиотечные элементы, а в текстовом описании библиотеки обычно содержится информация о поведении элемента и его временной диаграмме. Можно сказать, что при разработке проекта СБИС или ПЛИС возможно даже не придется вручную подключать/отключать эти элементы в структурном

описании и вообще знать об их существовании.

Следующие два элемента разработки предоставляются пользователем – это синтезируемое описание на языке HDL и набор директив для средства синтеза. Также нужен набор средств разработки, включающий в себя симулятор и средство синтеза. Следует остановиться на отличиях синтеза от компиляторов поведенческих языков. Компилятор языка (например, C) детерминированным образом переводит операторы языка в команды машинного языка. Синтез переводит последовательные операторы языка HDL в структурную схему, состоящую из библиотечных элементов. Данный процесс больше похож на перебор вариантов и выбор наилучшего, удовлетворяющего временным ограничениям и занимаемой площади. Следствием этого является то, что синтез – это итеративный процесс, в котором результаты предыдущего шага используются для коррекции директив для следующего шага. Методология написания директив синтеза и подход к синтезу схемы, имеющей минимальное количество вентиля и максимальную тактовую частоту, является отдельным вопросом и в статье не рассматривается. Но, в любом случае, предоставляемое пользователем описание на языке HDL должно быть правильным, т. е. работоспособным и синтезируемым.

Рассмотрим операции, которые необходимо выполнить для разработки прибора на СБИС или ПЛИС:

- 1) подготовка синтезируемого поведенческого описания схемы (этому шагу может предшествовать моделирование на C, в среде MatLab или с использованием специализированных средств);
- 2) написание тестовой оболочки – испытательного стенда (testbench), – в которой проводится полное тестирование всех режимов модели;
- 3) итеративная процедура синтеза поведенческой модели, результатом которой является структурная схема (netlist) с использованием библиотечных элементов и файл задержек распространения (SDF standard delay file);
- 4) проверка работоспособности netlist'a, при этом обычно используется тот же testbench, что и для п. 2. Нарушение работоспособности может быть связано с нарушениями допустимых времен библиотечных элементов, гонками фронтов и пр. В зависимости от опыта разработчика, происходит возврат к п.п. 1–3 или переход к п. 5; также полезно на этом шаге проверить результаты работы средств временного анализа (static timing report) для выяснения “узких мест” – критических путей проекта;
- 5) процедура размещения и трассировки, которая выполняется специальными средствами; результатом является коррекция SDF файла (помимо прошивки ПЛИС или разводки СБИС);
- 6) проверка netlist'a с новыми задержками; подобна п. 4, но возврат возможен к п.п. 1, 3, 5;
- 7) in-place оптимизация (для большинства современных ПЛИС отсутствует), в ходе которой производится выравнивание

вание времен распространения сигналов – усиление/ослабление выходов ячеек, установка буферов/элементов задержки;

8) повтор п. 6 до тех пор, пока не будут достигнуты требуемые характеристики;

9) подготовка производственных тестов, предназначенных для поиска неисправностей в СБИС (для ПЛИС этот шаг необязателен).

Шаг 3 в этой схеме раньше выполнялся вручную, когда поведенческое описание заменялось на структурное самим разработчиком. В настоящее время существуют средства синтеза, которые позволяют получить более эффективную схему. Пользование этими средствами накладывает ограничение на употребление конструкций языка в исходном коде. То есть требуется синтезируемая модель. Кроме того, чтобы многократно не переписывать поведенческую модель, следует четко представлять, какое Verilog описание приведет к синтезу того или иного элемента схемы.

Ранее в статье было продемонстрировано, как работает Verilog симулятор. Далее будут рассмотрены требования средств синтеза.

В результате синтеза любой элемент языка может быть синтезирован, проигнорирован, либо может вызвать ошибку. Конструкции языка могут поддерживаться полностью, частично или не поддерживаться.

Как уже упоминалось, иерархические имена, initial, fork-join или primitive не поддерживаются. Временной контроль #pp игнорируется в синтезируемой модели. Событийный контроль поддерживается частично: только в блоках always.

В документации к средству синтеза указывается, какие ограничения вводятся на элементы языка. Перед написанием модели следует ознакомиться с документацией.

Кроме этого, существуют правила описания комбинаторной логики, последовательной логики, мультиплексоров, FSM и т. п.

Комбинаторная логика синтезируется из следующих конструкций:

- 1) непрерывное присвоение:

```
assign a=b+c&d;
wire b={e,f} | g[1:0];
```

- 2) сигналы, описанные в функциях;
- 3) сигналы, описанные следующей или подобной конструкцией:

```
reg data_out;
always @(a or b or c)
if (b)
data_out = a;
else
data_out = c;
```

то есть блок always, в списке чувствительности которого перечислены все входные сигналы.

Как можно видеть в 3-ем (а иногда и во 2-ом) случае объявление сигнала с ключевым словом reg не приводит к созданию регистра. Также комбинаторная логика синтезируется в случае case, если описаны все ветви. При этом

получается не приоритетный набор (как в моделировании), а набор параллельных конструкций. Также case используется для синтеза мультиплексоров.

Последовательная логика имеет ограничения в синтезируемых конструкциях. Для описания регистра-защелки (latch) применяется следующая конструкция:

```
reg data_out;
always @(data_in or enable)
if (enable)
data_out = data_in;
```

Для регистров, работающих по фронту/срезу сигнала, применяется описание с posedge или negedge конструкцией:

```
reg data_out;
always @(posedge clock)
data_out = data_in;
```

Чтобы добавить синхронный сброс, описание нужно дополнить сигналом установки/сброса, но не вносить эти сигналы в список чувствительности:

```
reg data_out;
always @(posedge clock)
if (set_sig)
data_out = 1'b1;
else if (reset_sig)
data_out = 1'b0;
else
data_out = data_in;
```

Для асинхронной установки/сброса конструкция должна быть изменена, так чтобы эти сигналы попали в список чувствительности:

```
reg data_out;
always @(posedge clock or posedge
set_sig or posedge reset_sig)
if (set_sig)
data_out = 1'b1;
else if (reset_sig)
data_out = 1'b0;
else
data_out = data_in;
```

Пользуясь этими принципами, можно описать триггер любого типа.

Если сигнал имеет размерность, большую единицы, то синтезируются устройства для каждого бита, а существующая логика или арифметика в подобных конструкциях синтезируется в комбинаторную схему.

Блок case, у которого не все входные воздействия расшифровываются, синтезируется в элемент последовательной логики. Также может использоваться для описания FSM (finite state machine). Поэтому кажется более правильным воспользоваться комбинаторным case и явно описать регистр для хранения результата (к примеру, для реализации FSM).

Ограничения, накладываемые средством синтеза на HDL язык, позволяют описывать логику работы схемы в виде комбинаторной логики и регистров для хранения результатов. Такое описание называется RTL (register transfer level) и иногда отделяется (по смыслу) от поведенческого. Основная идея, которую хотелось

бы высказать в данной статье, – это то, что следует пользоваться RTL описанием для моделирования и синтеза. Данный подход является эффективным методом ведения разработки. Так как “правильное” (написанное с применением правил изложенных выше) поведенческое описание может быть автоматически синтезировано на уровень вентилей, это позволяет значительно ускорить и упростить процесс разработки. При этом, если временные ограничения были выбраны правильно (с учетом задержек в элементах библиотеки), поведение RTL (поведенческой модели) не будет отличаться от поведения нетлиста (gate-level) и не должно отличаться от поведения готового изделия.

Завершая рассмотрение синтезируемого (RTL) кода, следует упомянуть о директивах синтеза, не являющихся элементами языка Verilog. Они задаются в поле комментария и игнорируются при моделировании, но управляют средством синтеза, например:

```
// synopsis synthesis off
$write(“this string is ignored by
synthesis”);
// synopsis synthesis on
```

Для уже упоминавшегося case существует директива синтеза (выбирающая синтез в последовательную или параллельную логику), которая может быть указана в поле комментария:

```
// ambit synthesis case = full | parallel |
mux
```

Но данный механизм – нестандартный и его использование оправдано в редких случаях.

## Заключение

Данная статья не является документацией по языку Verilog. Целью написания статьи было проиллюстрировать работу Verilog симулятора и показать возможность использования языка Verilog для разработки цифровых схем. При этом рассматривались как аспекты, связанные с тестированием модели (написание испытательных стендов), так и проблемы написания синтезируемого кода. Приведенные примеры и объяснения к ним должны были (по замыслу автора) показать различия между процедурными языками и языками описания HDL. Развитие CSoC и ПЛИС позволяет предположить, что все большие части проекта могут быть реализованы в виде описания HDL. В статье была сделана попытка показать, что Verilog является сильным и удобным средством для этого.

Сергей Емец,  
yemets@javad.ru

(Продолжение, начало №2–3/2001)

## Создание аналоговых PSPICE-моделей радиоэлементов

При расчете уровня внутреннего шума имена выходных переменных имеют стандартный вид:

$I_{Noise}$  – эквивалентный уровень шумового напряжения или тока на входе, равный

$$\sqrt{S_{Vx\_эвк}(f)}$$

$O_{Noise}$  – уровень напряжения шума на выходе, равный

$$\sqrt{S_{u\_вых}(f)}$$

$DB(I_{Noise})$  – эквивалентный уровень шумового напряжения или тока на входе в децибелах.

$DB(O_{Noise})$  – уровень напряжения шума на выходе в децибелах.

Таблица 7. Параметры модели резистора

Имя	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
R	Коэффициент пропорциональности	–	1
TC1	Линейный температурный коэффициент	1/°C	0
TC2	Квадратичный температурный коэффициент	1/°C <sup>2</sup>	0
TCE	Экспоненциальный температурный коэффициент	°C	0
T_Abs	Абсолютная температура	°C	27
T_Measured	Температура измерений	°C	27
T_Rel_Global	Относительная температура	°C	0
T_Rel_Local	Разность между температурой резистора и модели-прототипа	°C	0

Таблица 8. Параметры модели конденсатора

Имя	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
C	Коэффициент пропорциональности	–	1
VC1	Коэффициент линейной зависимости от напряжения	V <sup>-1</sup>	0
VC2	Коэффициент квадратичной зависимости от напряжения	V <sup>-2</sup>	0
TC1	Линейный температурный коэффициент	1/°C	0
TC2	Квадратичный температурный коэффициент	1/°C <sup>2</sup>	0
T_Abs	Абсолютная температура	°C	27
T_Measured	Температура измерений	°C	27
T_Rel_Global	Относительная температура	°C	0
T_Rel_Local	Разность между температурой конденсатора и модели-прототипа	°C	0

В программе Probe корень квадратный из спектральной плотности напряжения и тока внутреннего шума выводится в виде  $V(I_{Noise})$ ,  $I(O_{Noise})$ ,  $V(O_{Noise})$ .

### Резистор

Форма описания включения резистора в схему:

$R<Имя> <Узел(+)><Узел(-)> [<Имя модели>] <Значение>$

Форма описания модели:

$.Model <Имя модели> Res(<Параметры модели>)$

Параметры модели резистора указаны в таблице 7. Если в описании резистора  $<Имя модели>$  опущено, то его сопротивление равно параметру  $<Сопротивление>$  в омах. Если  $<Имя моде-$

ли> указано и в директиве  $.Model$  отсутствует параметр TCE, то сопротивление резистора определяется выражением  $<значение> \cdot R \cdot [1 + TC1 \cdot (T - T_{nom}) + TC2 \cdot (T - T_{nom})^2]$ .

Если параметр TCE указан, то сопротивление равно  $<значение> \cdot R \cdot 1,01^{TCE(T - T_{nom})}$ , где  $T$  – текущее значение температуры (указывается по директиве  $.Temp$ );  $T_{nom} = 27^\circ\text{C}$  – номинальная температура (указывается по директиве  $.Options$ ).

Параметр  $<Значение>$  может быть как положительным, так и отрицательным, но не равным нулю.

Спектральная плотность теплового тока резистора рассчитывается по формуле Найквиста:  $S(f) = 4kT / <Сопротивление>$ . Для резисторов с отрицательным сопротивлением в этой формуле берется абсолютное значение сопротивления.

Примеры:

$RL\ 30\ 56\ 1.3K$ ; Сопротивление  $RL$  величиной 1.3 кОм подключенное к узлам 30 и 56.

$R2\ 12\ 25\ 2.4K\ TC=0.005, -0.0003$ ; Сопротивление  $R2$  величиной 2.4 кОм, подключенное

\* к узлам 12 и 25 и имеющее температурные коэффициенты  $TC1=0.005\ 1/^\circ\text{C}$ ,  $TC2=-0.003\ 1/^\circ\text{C}^2$ .

$R3\ 3\ 13\ RM\ 10K$   
 $.MODEL\ RM\ RES\ (R=1\ DEV=10\% TC1=0.015\ TC2=-0.003)$ ; Сопротивление  $R3$ ,

\* включенное между узлами 3 и 13, с моделью RM, учитывающий технологический

\* разброс номинала и имеющее температурные коэффициенты  $TC1=0.015\ 1/^\circ\text{C}$ ,

\*  $TC2=-0.003\ 1/^\circ\text{C}^2$ .

### Конденсатор

Форма описания включения конденсатора в схему:

$C<Имя> <Узел(+)><Узел(-)> [<Имя модели>] <Значение>$

Форма описания модели:

$.Model <Имя модели> Cap(<Параметры модели>)$

Параметры модели конденсатора указаны в таблице 8. Если в описании конденсатора  $<Имя модели>$  опущено, то его емкость равна параметру  $<Значение>$  в фарадах, в противном случае она определяется выражением  $<Значение> \cdot C \cdot (1 + VC \cdot V + VC2 \cdot V^2) + TC1 \cdot (T - T_{nom}) + TC2 \cdot (T - T_{nom})^2$ , где  $V$  – напряжение на конденсаторе при расчете переходных процессов (режим Tran). При расчете частотных характеристик (режим AC) емкость считается постоянной величиной, определяемой в рабочей точке по постоянному току.

После ключевого слова IC указывается значение напряжения на конденсаторе при расчете режима по постоянному току, которое при расчете переходных процессов служит начальным значением этого напряжения.

Примеры:

$C1\ 1\ 4\ 10u$ ; конденсатор  $C1=10$  мкФ, включенный между узлами 1 и 4.

Таблица 9. Параметры модели индуктивности

Имя	Параметр	Размерность	Значение по умолчанию
L	Коэффициент пропорциональности	—	1
IL1	Коэффициент линейной зависимости от тока	A <sup>-1</sup>	0
IL2	Коэффициент квадратичной зависимости от тока	A <sup>-2</sup>	0
TC1	Линейный температурный коэффициент	1/°C	0
TC2	Квадратичный температурный коэффициент	1/°C <sup>2</sup>	0
T_Abs	Абсолютная температура.	°C	27
T_Measured	Температура измерений.	°C	27
T_Rel_Global	Относительная температура.	°C	0
T_Rel_Local	Разность между температурой катушки индуктивности и модели-прототипа.	°C	0

C24 30 56 100pF ; конденсатор C24 емкостью 100пФ включен между узлами 50 и 56.

C3 3 13 RMON 47n  
.Model CMON Cap (C=1 DEV=10% TC1=0.05 TC2=-0.02); Конденсатор C3=47 нФ,

\* включенный между узлами 3 и 13, с моделью RMON, учитывающий технологический

\* разброс номинала и имеющий температурные коэффициенты TC1=0,05 °C<sup>-1</sup>,

\* TC2=-0,03 °C<sup>-2</sup>.

### Индуктивность

Форма описания включения индуктивности в схему:

L<Имя> <Узел(+)><Узел(-)> [<Имя модели>]<Значение>

Форма описания модели:

.Model <Имя модели> Ind (<Параметры модели>)

Параметры модели индуктивности

указаны в таблице 9. Если в описании индуктивности опущено <Имя модели>, то индуктивность равна параметру <Значение> в генри, в противном случае она определяется выражением вида <Значение> · L · (1 + IL1 · I + IL2 · I<sup>2</sup>) + TC1 · (T – Tnom) + TC2 · (T – Tnom)<sup>2</sup>, где I – ток через катушку индуктивности при расчете переходных процессов (режим Tran). При расчете частотных характеристик (режим AC) индуктивность считается постоянной величиной, определяемой в рабочей точке по постоянному току.

После ключевого слова IC указывается значение тока через катушку индуктивности при расчете режима по постоянному току, которое при расчете переходных процессов служит начальным значением этого тока.

Примеры:

L1 30 56 10; индуктивность L1=10 Гн, включенная между узлами 30 и 56.

L2 3 5 100u ; индуктивность L2=100 мкГн, включенная между узлами 3 и 5.

L3 3 13 LM 10m

.Model LM Ind (L=1 DEV=10% TC1=0.015 TC2=-0.003); Индуктивность L3=10 мГн,

\* включенная между узлами 3 и 13, с моделью LM, учитывающая технологический

\* разброс номинала и имеющая температурные коэффициенты TC1=0.015 1/°C,

\* TC2=-0.003 1/°C<sup>2</sup>.

## Фотолитографические процессы – технология работы с фоторезистами

*Судя по многочисленным вопросам, приходящим в редакцию и автору, статья "Фотолитографические процессы" ("Схемотехника" №2/2001) вызвала повышенный интерес тех читателей, которые хотели бы освоить метод не только в домашних условиях и учебных заведениях, но и в производстве. Редакция попросила автора дать дополнительные советы и рекомендации, касающиеся применения фоторезиста на основе ПВС.*

**Д**ля получения контролируемых и качественных результатов при изготовлении печатных плат, необходимо строго соблюдать все температурные режимы и обращать повышенное внимание на чистоту.

Полный технологический цикл состоит из следующих этапов:

1. механическая очистка от окислов;
2. химическое обезжиривание;
3. промывка;
4. нанесение фоторезиста;
5. сушка;
6. экспонирование;
7. проявление;
8. химическое дубление;
9. промывка и сушка;
10. термическое дубление;
11. снятие вуали и травление.

Операции с 4 по 7 пункт включительно необходимо производить при рассеянном свете, избегая попадания на плату прямых солнечных лучей. Время их проведения должно быть сокращено до минимума (не более 3-х часов во избежание темного дубления).

Фольгированный стеклотекстолит должен иметь чистую ровную поверхность без видимых царапин и повреждений. Перед нанесением фоторезиста поверхность необходимо тщательно очистить и обезжирить. Для очистки поверхности от окислов лучше всего использовать толченый и просеянный мел или зубной порошок. Инструментом для очистки в этом случае служит губка или просто кусок поролона. Для ускорения процесса лучше всего совместить очистку и обезжиривание. Для этого необходимо приготовить чистяще-обезжиривающий состав, состоящий из равных частей зубного порошка, жидкого стекла (силикатного клея), стирального порошка и воды. Готовая смесь представляет собой пастообразную массу, не разъедающую руки и хорошо смываемую водой. Для чистки необходимо при помощи губки нанести состав на медную поверхность и с небольшим усилием протереть ее. После этого остатки пены необходимо смыть с платы. Критерием качественной подготовки поверхности служит то, что вода равномерно растекается по поверхности,

не собираясь в ручейки и капли. Начиная с этого момента, заготовки будущих плат можно брать руками только за края.

Наносить фоторезист можно как на сухие, так и на влажные заготовки. Для улучшения поливных свойств иногда даже желательно предварительно смочить заготовки водой. Фоторезист лучше всего наносить широкой кистью с мягким ворсом в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Надо стараться, чтобы слой был равномерным и тонким. Очень хорошие результаты получаются при нанесении фоторезиста методом центрифугирования. Скорость вращения заготовки при этом должна лежать в пределах 1–10 оборотов в секунду (зависит от размеров платы: чем они меньше, тем выше должна быть скорость). При нанесении фоторезиста во время вращения заготовки ее можно сушить теплым воздухом из фена. Особое внимание при этом надо обратить на температуру: она не должна превышать 40°C. В противном случае фоторезист будет задублен, и все придется начинать сначала.

Неплохие результаты получаются при нанесении эмульсии методом аэрозольного распыления. В качестве распылителя можно применять фабричные краскопульты или аэрограф. После каждого нанесения необходимо тщательно образом промыть все детали распылителя, поскольку в противном случае задубленный и высохший фоторезист будет очень сложно удалить. При нанесении, ввиду повышенной густоты фоторезиста, требуется повышенное давление воздуха. Его подачу в головку распылителя следует отрегулировать так, чтобы струя напоминала облако, и производить покрытие поверхности нужно его краем: это позволит избежать попадания крупных капель на заготовку.

Процесс сушки занимает около 5 минут. Высохшая заготовка сразу же готова к экспонированию (засветке). Так как фоторезист на основе ПВС негативный, фотошаблоном является негатив. Дорожки меди на фотопленке будут выглядеть как прозрачные участки на непрозрачном фоне. Для засветки очень удобно использовать

галогенную лампу Свет-1000 или другой мощный источник света. При расположении светового прибора на расстоянии 40 см, время засветки составит около 2-х минут. Чтобы фотошаблон был хорошо прижат, необходимо под заготовку подложить тонкий лист поролона. Обязательно надо проследить, чтобы эмульсия на стеклотекстолите совпала с эмульсией на фотопленке, в противном случае результат может оказаться отрицательным.

Проявлять нужно в теплой воде с температурой 35–45°C. Время проявления – около 1 минуты. Для того чтобы лучше был виден рисунок платы, полезно в воду добавить несколько капель школьных чернил: слой при этом будет окрашен, и станет легче контролировать процесс проявки.

Проявление необходимо производить в фотоковете, слегка ее покачивая для лучшего вымывания незаэкспонированного фоторезиста. Проточная вода недопустима: она легко может смыть весь слой.

Во время проявления надо быть очень осторожным. Слой ПВС или желатина сильно разбухает и становится очень нежным. Чтобы придать ему дополнительную прочность, необходимо химическое дубление. Обычно его производят 10% раствором хромового ангидрида. Время дубления составляет около 1 минуты. При этом фоторезист окрашивается в красно-коричневый цвет и легко заметить, как его разбухание значительно уменьшается. После ополаскивания в чистой воде плату необходимо подсушить феном и можно осуществлять термическое дубление, время которого зависит от температуры. При температуре около 100°C время термического дубления составляет около 30 минут, а при температуре 200°C – всего 5–10 минут. Правда, при высокой температуре есть риск, что стеклотекстолит может покоробиться, но если вы уверены в его высоком качестве, то этот режим дубления вполне допустим. Хорошо задубленные заготовки окрашены в тона от светлого до темно-коричневого.

Пробельные участки меди обычно покрываются слоями окислов и остатками фоторезиста. Чтобы убрать вуаль, мешающую нормальному травлению, необходимо протереть медную поверхность кашицей из зубного порошка с водой. При этом можно не бояться поцарапать слой фоторезиста: после дубления он стал уже достаточно прочным. Далее можно травить плату, как обычно, в растворе хлорного железа. После травления фоторезист, при необходимости, удаляют смесью щавелевой кислоты с солью, либо перекисью водорода, либо соляной кислотой.

Некоторые причины возникновения брака и способы их устранения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Вид брака	Причина брака	Способ устранения
Рисунок плохо проявляется	Перегрев светочувствительного слоя при сушке, недостаточная освещенность при экспонировании	Строго соблюдать режимы сушки и экспонирования
Разрушение слоя при травлении («сползание» эмульсии)	Слой недосушен	Строго соблюдать режимы сушки и экспонирования
Множество мелких точек при нанесении слоя	Некачественно отфильтрованный фоторезист	Отфильтровать фоторезист через капроновое сито
Изменение размеров рисунка после проявления, разрушение краев	Длительное проявление, неплотное прилегание фотошаблона к заготовке	Проявлять не более 2 минут, проверить работу вакуумной установки экспонирования
Шелушение слоя фоторезиста	Нарушение технологии варки ПВС (добавление воды в процессе варки), режимов проявления (длительное проявление), режимов химического или термического дублирования	Строго соблюдать технологию варки ПВС, соблюдать режимы проявления, химического и термического дублирования
При травлении происходит неполное удаление меди с пробельных участков платы	Неполное проявление, наличие «вуали»	Проявлять в теплой воде, убрать «вуаль» при помощи губки и тонкого порошка мела

**Александр Воробьев,**  
alex@hit.mldnet.com,  
Fido-Net 2:469/15.30

НОВОСТИ НАУКИ И ТЕХНИКИ

## Нетрадиционное применение микроволновой техники

*Сравнительно недавно новозеландской фирмой, известной в области высоких технологий, было произведено революционное открытие, значимость и важность которого можно сравнить, разве что, с изобретением лазера. Любопытно, что оно затрагивает такие отрасли, как звероводство и служебное собаководство. Хотелось бы более подробно остановиться на этом.*

Старинная новозеландская фирма Formann and Olsson Ostensible Laboratory знаменита тем, что издавна является OEM-поставщиком кабельной продукции из чилийской меди для многих известных фирм. Природная чистота сырья позволяет получать удивительные по свойствам продукты, не прибегая к космическим технологиям. Однако Джек Форманн и Ник Олссон не довольствовались столь прибыльным бизнесом. В конце 80-х годов ими был разработан метод получения анизотропной кристаллической структуры проводников с использованием ядерного магнитного резонанса — ЯМР, или Nuclear Magnetic Resonance (напомним, что этот эффект возникает при одновременном воздействии на образец мощного постоянного магнитного и СВЧ электромагнитного полей). Была построена уникальная установка для протяжки тончайших OFC (Oxygen Free Copper)/Ag/Au — NFR проводов в вакуумной камере. Резонансное воздействие полей на растущие кристаллы приводит к тому, что границы между кристаллами становятся упорядоченными, и, самое главное, приобретают периодическую структуру. В результате электрическое поле в проводнике также приобретает микропериодическую структуру. Вследствие этого, взаимодействие электронов с

магнитным полем не приводит к так называемому скин-эффекту, когда электроны выталкиваются к поверхности проводника. Напротив, подбором параметров модуляции, величины магнитного поля и амплитуды СВЧ излучения в момент протяжки проводника через фильеру можно получить практически любое распределение плотности тока по сечению проводника. Нечто подобное известно в оптике. Многие видели удивительные по красоте голограммы Денисюка, фактически представляющие собой просто чередование микроскопических участков фотоэмульсии с различными оптическими свойствами. При освещении голограммы белым светом происходит фазовая и амплитудная модуляция волны, воспринимаемая глазом как точная копия запечатленного объекта. Специалистам хорошо известны голографические линзы, изготовленные как механическим, так и чисто оптическим способом.

Для обеспечения возросшей в последнее время потребности индустрии High-End аудио в проводах с уникальными свойствами, в живописном месте в окрестностях Веллингтона было начато строительство новой кемеры-резонатора. В старой камере, запущенной в 1987 году, ученые получали огромный ассортимент, в основном прово-

да для связной и космической техники. Это хорошо известные безскинковые провода, не нуждающиеся в изоляции, поскольку на поверхности проводника практически отсутствует ток, полностью скомпенсированный внутренними полями. Но тут в дело вмешался случай.

В момент отладки оборудования, когда вакуумные установки не были включены, а генераторы магнитного и СВЧ поля уже работали, в открытую дверцу шлюза камеры случайно забежал кролик, который спасался от преследовавшей его собаки. Видимо, кролик пытался укрыться от опасности в норе. Контрольно-измерительная аппаратура зарегистрировала возросший КБВ в волноводе генератора, питающем камеру-резонатор. Регламентные работы были тотчас остановлены. Каково же было изумление испытателей, когда они увидели живого и невредимого кролика, спокойно убегающего в новозеландский буш. Собаку, к счастью, удалось поймать. Тщательная проверка здоровья животного и последующие расчеты показали, что комбинация магнитного поля с СВЧ не только не превратила подопытную собаку в жаркое, но и не принесла ей никакого вреда. Скин-эффект просто выталкивает СВЧ поле за пределы живой ткани. При более детальном осмотре собаки выяснилось, что все блохи и клещи, находившиеся на ней, были мертвы. Они попросту сварились в СВЧ поле. Это натолкнуло исследователей на мысль избавлять животных от паразитов таким необычным способом. О том, что нужно подбирать не только частоту СВЧ, но и напряженность магнитного поля, было выяснено значительно позже. В ходе контрольных опытов насекомых часто разрывало с громким треском, что не только пугало собак, но и вызывало протесты активистов местного общества защиты животных.

*Перевод с новозеландского  
Евгения Панаева  
и Александра Скобичевского*

# Растворители

*Роль различных растворителей в современных технологических процессах невозможно переоценить. Только хорошее знание их физико-химических свойств может гарантировать качественное лакокрасочное покрытие, надежную пропитку, а также прочное и долговременное клеевое соединение. Автором данной статьи была принята попытка собрать и систематизировать данные об основных растворителях, применяемых как в производстве, так и в быту. Насколько это удалось – судить вам.*

**Р**астворителями называются легколетучие органические жидкости, применяемые для растворения лаковой основы и способные улетучиваться в процессе образования пленки. Жидкости, не растворяющие пленкообразующие вещества самостоятельно, в отличие от растворителей, называют разбавителями: они служат, в основном, для разбавления готовых лаков.

Назначение растворителя – перевести лаковую основу в раствор, с тем чтобы создать возможность нанесения жидкого лака на какую-либо поверхность одним из существующих способов: погружением, кистью или пульверизацией. После испарения растворителя на поверхности образуется лаковая пленка.

Качество растворителей и разбавителей оказывает существенное влияние на качество получаемой лаковой пленки, поэтому к ним предъявляются требования, рассмотренные далее.

## Растворяющая способность по отношению к лаковой основе

Растворитель должен обладать хорошей растворяющей способностью по отношению к той лаковой основе, для которой он используется, т. е. полностью ее растворять и не вызывать коагуляции лака при длительном его хранении и применении. В зависимости от химического состава пленкообразующего вещества, используется один растворитель или смесь растворителей, обладающая комплексом необходимых свойств.

Таблица 2

Растворитель	Пределы взрывоопасности				Содержание по объему паров растворителей в полностью насыщенном воздухе (при 20°C и 760 мм ртутного столба), %
	По объему, %		По концентрации, г/м <sup>3</sup>		
	Нижний	Верхний	Нижний	Верхний	
Ацетон	2	13	48,5	315	23,7
Амилацетат	2,2	10	119	541	2,1
Бензин	1,2	7	–	–	–
Бензол	1,4	9,5	45	308	9,9
Бутиловый спирт	3,7	10,2	114	314	0,6
Дихлорэтан	6,2	15,9	256	680	–
Дихлорэтилен	9,7	12,8	–	–	–
Керосин	1	7,5	–	–	–
Ксилол	3	7,6	132	334	1,3
Метилацетат	2,2	15,6	127	431	22,4
Метиловый спирт	5,5	37	73,4	493	12,5
Толуол	1,3	7	49,8	268	2,6
Этилацетат	2,2	11,4	82,4	403	9,6
Этиловый спирт	3,3	19	67	364	5,9

## Оптимальная скорость испарения

Растворитель должен полностью улетучиваться из лака во время процесса сушки, не оставляя никакого нелетучего остатка, способного ухудшить качество лаковой пленки (уменьшить ее прочность, увеличить время сушки и т. п.). Применение таких легколетучих растворителей, как бензол, ацетон и аналогичных из-за быстрого их испарения из лаковой основы и резкого ее охлаждения вызывает побеление или потускнение лаковой пленки вследствие конденсации влаги из окружающего воздуха на ее поверхности.

Скорость испарения (летучесть) растворителя в значительной степени зависит от его температуры кипения. Растворители обычно обладают высокой упругостью пара, а следовательно, боль-

шой летучестью. Измерить упругость пара при нормальной температуре сложно, поэтому чаще всего приводится температура, при которой упругость пара растворителя равна атмосферному давлению, т. е. температура кипения данного растворителя. Однако при температуре ниже температуры кипения, скорость испарения растворителя сильно зависит от степени ассоциации его молекул, т. е. от его химической природы. Так, бутиловый спирт, имеющий температуру кипения 114°C, испаряется при температуре 20°C в 3 раза медленнее, чем ксилол, имеющий температуру кипения 140°C.

Летучесть растворителей определяют по времени испарения капли растворителя, нанесенной на фильтровальную бумагу. При этом за единицу измерения принимают время испарения серного эфира или ксилола.

По температуре кипения различают три группы растворителей:

- низкокипящие – температура кипения 30–70°C;
- среднекипящие – 70–110°C;
- высококипящие – 110–170°C.

Чтобы судить о летучести смеси растворителей и лаков, следует учитывать летучесть отдельных растворителей при обычной температуре. Более точно летучесть растворителей определяется по их потере в массе при высыхании. Для воспроизведения таких опытов необходимо строго соблюдать постоянство множества параметров: температуры, скорости движения воздуха, площади поверхности испарения и толщины слоя жидкости.

Таблица 1. Предельно допустимая концентрация паров растворителей

Растворитель	ПДК, мг/л
Ацетон	0,2
Амилацетат (бутилацетат, этилацетат)	0,2
Бензин	0,3
Бензол	0,1
Бутиловый спирт	0,1
Ксилол	0,2
Керосин (уайт-спирит, лигроин)	0,3
Метиловый спирт и метилацетат	0,03
Скипидар	0,3
Сольвент	0,1
Толуол	0,1
Трихлорэтилен	0,05
Дихлорэтан	0,05
Целлозольв	0,2
Четыреххлористый углерод	0,01
Этиловый спирт	1
Этиловый эфир	0,1
Хлорбензол	0,05

**Минимальная токсичность**

Все органические растворители, применяемые в производстве лаков, являются в той или иной степени токсичными, причем наиболее токсичными являются ароматические углеводороды (особенно бензол), хлорированные углеводороды и сложные эфиры. Наименее токсичными являются алифатические углеводороды и терпены (бензин, скипидар).

Пары растворителей вредны для здоровья, так как они действуют как на органы дыхания, так и непосредственно на кожные покровы. Летучесть растворителей является основным фактором, повышающим токсичность. Пары легколетучих растворителей всегда содержатся в воздухе в больших концентрациях, чем пары менее летучих, и поэтому они более опасны, чем менее летучие. В таблице 1 приведены данные по токсичности наиболее распространенных растворителей.

**Воспламеняемость и взрывоопасность**

Почти все без исключения органические растворители являются огне- и взрывоопасными. Взрывы происходят только при определенных соотношениях паров

растворителей и воздуха (кислорода).

Для каждого растворителя существуют определенные границы концентрации паров в воздухе, в пределах которых может произойти взрыв (таблица 2). Повышение температуры смеси вызывает расширение пределов взрыва.

Вспышка паров большинства растворителей при наличии источника огня происходит при нормальной температуре, но возможно также и самовоспламенение смеси паров растворителей с воздухом (т. е. без наличия искры или других источников огня). Температуры самовоспламенения различных растворителей приведены в таблице 3.

При выборе растворителей и разбавителей для пропиточных лаков следует учитывать их действие на эмалевую изоляцию проводов. Поэтому для пропитки обмоток, выполненных из провода с изоляцией из масляной эмали, лаки должны содержать минимальное количество ароматических растворителей; для пропитки провода с винилфлексовой изоляцией лаки не должны содержать спиртов и сложных эфиров. Ароматические растворители при длительном воздействии вызывают набухание и размягчение пленки. Наименьшее активное действие оказывают на эмалевую изоляцию проводов скипидар и бензин.

**Основные типы растворителей**

Характеристики наиболее распространенных растворителей приведены в таблице 3. Растворители делят на следующие основные группы: нефтяные или алифатические углеводороды, ароматические углеводороды, терпены, спирты, сложные и простые эфиры, кетоны, хлорированные углеводороды и пр.

**Нефтяные или алифатические углеводороды**

Нефтяные углеводороды представляют собой продукты фракционной перегонки нефти. Химический состав нефти и ее фракций зависит от месторождения. В основном, она состоит из смеси алифатических углеводородов общего состава  $C_nH_{2n+2}$ . К нефтяным углеводородам относятся бензины, уайт-спирит и керосин.

Бензин марки Б-70 и бензин "Галоша" применяются для растворения некоторых видов масляных лаков. В масляно-битумных и других лаках они применяются, главным образом, в качестве разбавителей в смеси с ароматическими углеводородами. По отношению к масляно-битумным лакам бензины обладают меньшей растворяющей способностью и в больших количествах могут вызывать коагуляцию лаков.

Таблица 3

Растворитель	Химический состав (формула)	Плотность при 20°С	Температура кипения при 760 мм ртутного столба	Температура вспышки, 20°С	Температура самовоспламенения, °С	Время испарения по серному эфиру	Температура замерзания (плавления)	Плотность паров	ГОСТ или ТУ
Бензин авиационный Б-70	Смесь алифатических углеводородов общего состава $C_nH_{2n+2}$	—	40–180	–30	230–260	35–50	–60	—	ГОСТ 1012-72
Бензин «Галоша»		0,73	80–120	–30	230–260	35–50	–60	—	ГОСТ 443-56
Уайт-спирит		0,795	165–200	33	258	40–60	—	—	ГОСТ 3134-52
Бензол	$C_6H_6$	0,879	79–80	–11	580	3	5,4	2,77	ГОСТ 8448-61
Толуол	$C_6H_5CH_3$	0,865	110–111	7	550	6,1	–92	3,14	ГОСТ 9880-61
Ксилол	$C_6H_4(CH_3)_2$	0,861–0,874	136,5–141,5	24	500	13,5	—	3,68	ГОСТ 9949-62
Сольвент каменноугольный (технический), I сорт	Смесь ароматических углеводородов	0,865	120–160	21	—	2 по ксилолу	—	—	ГОСТ 1928-67
Сольвент технический, II сорт		0,885	135–200	22	—	2 по ксилолу	—	—	
Дихлорэтан	$C_2H_4Cl_2$	1,25–1,26	85–86	Трудно горит	413	3,5	–36	—	ГОСТ 5840-51
Хлорбензол	$C_6H_5Cl$	1,07–1,114	130–132	28–32	—	12,5	–45	3,68	ГОСТ 646-60
Трихлорбензол	$C_6H_2Cl_3$	1,42–1,46	188–250	Не горит	—	—	–10	—	ГОСТ 13488-68
Этиловый спирт-ректификат	$C_2H_5OH$	0,788	78–78,2	12	404	8,3	–114	—	ГОСТ 5962-67
Этиловый спирт-сырец (88%)	$C_2H_5OH$	0,82–0,83	80–90	От +15 до +25	—	—	–60	2,07	ГОСТ 131-67
Бутиловый спирт (бутанол)	$C_4H_9OH$	0,809–0,815	114–118	От +28 до +35	366	33	–117	2,55	ГОСТ 5208-50
Изоамиловый спирт	$C_5H_{11}OH$	0,81	130–131	42	327	62	—	3,04	—
Циклогексанон	$(CH_2)_6CO$	0,945–0,947	150–158	44	—	—	—	—	СТУ-12-10-244-63
Этилацетат	$CH_3COOC_2H_5$	0,885–0,905	70–80	–1	484	2,9	–82	3,04	ГОСТ 8981-71
Бутилацетат	$CH_3COOC_4H_9$	0,865–0,880	116–135	25	420	11,8	–77	4	ГОСТ 8981-71
Амилацетат	$CH_3COOC_5H_{11}$	0,860–0,880	115–150	От +22 до +25	380	13	–78,5	4,68	ГОСТ 8981-71
Этилцеллозольв	$C_2H_5C_2H_4OH$	0,930–0,938	130–137	49	—	43	—	3,1	ГОСТ 8313-60
Ацетон	$(CH_3)_2CO$	0,790–0,791	55–57	–9	630	2,1	–94	2,01	ГОСТ 2603-71
Скипидар	$C_{10}H_{18}$	0,85–0,88	155–180	–32	252	—	—	—	ГОСТ 1571-66
Растворитель 646	Смесь сложных эфиров, кетонов, спиртов и ароматических углеводородов	—	—	—	—	8–16	—	—	ГОСТ 5630-51
Растворитель 647		—	—	—	—	8–12	—	—	ГОСТ 4005-48
Растворитель 648		—	—	—	—	11–18	—	—	ГОСТ 4006-48
Растворитель РДВ		—	—	—	—	—	—	—	ГОСТ 4399-48
Растворитель РКБ-1	Смесь ксилола и бутанола	—	—	—	—	1,1-1,6 по ксилолу	—	—	ГОСТ 2533-54
Вода	$H_2O$	0,9982	100	Не горит	Не воспламеняется	4,2 по ксилолу	0	—	ГОСТ 2874-54
Диметилформамид	$CHON(CH_3)_2$	0,94–0,95	—	—	—	—	—	—	ВТУ ЕУ-111-57

Таблица 4. Растворители, разбавители и разжижители

Наименование и марка	Состав (%)	Основное применение
Растворитель Р-4	Ксилол или толуол (62), бутилацетат (12), ацетон (26)	Разбавление ХВ, ЭП, ХС
Разбавитель Р-7	Циклогексанон (50), этиловый спирт-ректификат (50)	Разбавление ВЛ
Разбавитель Р-40	Ацетон (20), этилцеллозольв (30), толуол (50)	Разбавление ХВ и ЭП
Разбавитель РДВ	Бутилацетат или амилацетат (18), этилацетат (9), ацетон (3), бутанол (10), этиловый спирт (10), толуол (50)	Разбавление НЦ
Разбавитель РБК-1	Ксилол (50), бутанол (50)	Разбавление МЧ, ВЛ
Разбавитель РБК-2	Ксилол (5), бутанол (95)	Разбавление МЧ, ВЛ
Разбавитель БСТ	Смесь этилового спирта с бутанолом и толуолом	-
Сольвент-разбавитель	Смесь ксилола, толуола и некоторых других ароматических углеводородов	Разбавление МС
Растворитель АМР-1	Бутилацетат (20), этилацетат (20), бензол (35), бутанол (15), этиловый спирт (10)	-
Растворитель АМР-2	Бутилацетат (20), бензол (45), бутанол (14), этиловый спирт (21)	-
Растворитель 16	Этиловый спирт (90), толуол (8), вода (2)	-
Растворитель Р-219	Ацетон (33), толуол (33), циклогексанон (34)	Разбавление ПЭ
Растворитель 465	Амилацетат (30), метанол (25), бензол (45)	Разбавление НЦ
Растворитель 646	Бутилацетат или амилацетат (5,8), ацетон (11,7), бутанол (15), этиловый спирт (17,5), толуол (50)	Разбавление НЦ
Растворитель 647	Бутилацетат (29,8), этилацетат (21,2), бутанол (77), толуол (41,7)	Разбавление НЦ
Растворитель 648	Бутилацетат (50), этиловый спирт (10), бутанол (20), толуол (20)	Разбавление НЦ
Растворитель 650	Ксилол (50), этилцеллозольв (20), бутанол (30)	Разбавление НЦ
Растворитель 651	Уайт-спирит (90), бутанол (10)	Разбавление МЛ
Растворитель РС-1	Толуол, ксилол и бутилацетат	Разбавление ХВ, ЭП
Растворитель РС-2	Уайт-спирит и ксилол	Разбавление МС, ПФ
Растворитель АКР	Сложные эфиры уксусной кислоты, этиловый спирт, древесно-спиртовой растворитель	-
Растворитель древесно-спиртовой	Ацетон, метилацетат и метанол	-
Растворитель КР-36	Смесь ароматических углеводородов с пластификатором	Разбавление НЦ для кожи
Растворитель легкий	Смесь ароматических углеводородов, основное количество – бензол	-
Растворитель ТД	Ацетаты, ацетон, бутанол и бензол	-
Растворитель тяжелый	Ксилол, триметилбензол и др.	-
Разбавитель для художественных красок №1	Уайт-спирит обезвоженный (50), скипидар обезвоженный (50)	-
Разбавитель для художественных красок №2	Уайт-спирит обезвоженный	-
Разбавитель для художественных красок №3	Скипидар ректифицированный и обезвоженный	-
Разбавитель для художественных масляных красок	Растительное масло (66), уайт-спирит (34)	-
Пинен	Скипидар ректифицированный	-

Специально для лаков применяется сорт тяжелого бензина, называемый лаковым бензином, или уайт-спиритом, который обладает лучшей растворяющей способностью по сравнению с простыми бензинами, так как содержит в своем составе некоторое количество ароматических углеводородов. Кроме того, он обладает более высокими температурами кипения и вспышки и замедленной летучестью, что делает его весьма ценным растворителем в производстве лаков.

Керосин представляет собой наименее токсичный растворитель с содержанием ароматических углеводородов 11–18%. Он имеет высокую температуру кипения и находит широкое применение в кабельной промышленности для изготовления масляных эмаль-лаков, а также

масляных лаков для лакировки сегментов электротехнической стали. Сушка лаков с керосином в качестве растворителя происходит при температурах порядка 400–600°C. Также керосин применяется в качестве растворителя и для эскапоновых лаков, сушка которых производится при температуре 250–280°C.

#### Ароматические углеводороды

Кароматическим углеводородам относятся продукты перегонки каменноугольного дегтя, получаемого при коксовании угля, и продукты пиролиза нефти. Растворители, применяемые при производстве лаков (бензол, толуол, ксилол и сольвент), получают при помощи повторной перегонки из первых двух фракций (легкого масла) каменноугольного

дегтя. Исходным материалом для получения бензола является также газ, получаемый в процессе коксования угля.

Бензол (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) является хорошим растворителем для лаков, но, благодаря своей высокой летучести и токсичности, сегодня он повсюду заменяется толуолом.

Толуол (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>CH<sub>3</sub>) менее летуч, чем бензол, имеет более высокие температуры кипения и вспышки и по растворяющей способности к пленкообразующим веществам почти не уступает бензолу. Он является хорошим растворителем для большинства масляно-смоляных, масляно-битумных и смоляных лаков, не растворяет сложные эфиры, целлюлозу, шеллак и копалы, но может применяться как разбавитель их растворов. Толуол

используется в качестве одного из основных растворителей в производстве электроизоляционных лаков и эмалей.

Ксилол ( $C_6H_4(CH_3)_2$ ) представляет собой еще менее летучую жидкость, чем толуол, и имеет более высокие температуры вспышки и кипения. По растворяющей способности уступает своим гомологам – бензолу и толуолу. Благодаря преимуществам в противопожарном отношении и в отношении токсического действия на организм человека, ксилол с успехом применяется как растворитель для большинства лаков.

Сольвент каменноугольный представляет собой смесь ароматических углеводородов с небольшим количеством нафталиновых и парафиновых углеводородов, получаемых из остатков от очистки и ректификации сырого бензола. Легкий сольвент (1 сорт) является растворителем для смол и масел и разбавителем для эфиров целлюлозы. Тяжелый сольвент (2 сорт) является растворителем для смол и лаков, но малоприменим для эфиров целлюлозы. В производстве электроизоляционных лаков находит применение вместо ксилола.

### Терпены

Скипидар представляет собой бесцветную или слегка желтоватую жидкость с характерным запахом. По химическому составу является смесью углеводородов – терпенов, которые являются гидрогенизированными производными цимолов ( $C_{10}H_{16}$ ). Из терпенов в отечественных сортах скипидаров преобладают  $\alpha$ - и  $\beta$ -пинен. Скипидар получают из живицы путем отгонки (в остатке образуется канифоль) при температуре, не превышающей  $150^\circ C$ , или непосредственно из сучьев и пней хвойных деревьев другими способами (перегонкой с водяным паром, экстракцией и др.). Обычно скипидар подвергают вторичной перегонке для получения более чистого продукта.

Скипидар обладает способностью окисляться кислородом воздуха, образуя перекиси, ускоряя тем самым сушку лаковой пленки. Скипидар обладает хорошей растворяющей способностью по отношению к маслам, смолам, битумам и их композициям и поэтому находит применение наряду с такими растворителями, как уайт-спирит, ксилол, сольвент, но выгодно отличается от последних, так как имеет пониженную токсичность и не оказывает вредного воздействия на эмалевую изоляцию проводов, благодаря чему рекомендуется для растворения лаков, используемых при пропитке катушек, выполненных из провода ПЭЛ.

### Спирты

Этиловый (винный) спирт ( $C_2H_5OH$ ) представляет собой прозрачную легкоподвижную горючую жидкость с характерным, всем известным запахом. Он образуется в результате брожения сахарных или крахмалсодержащих веществ (картофеля, хлебных злаков и др.). В последнее время организовано массовое производство этилового гидролизного спирта, получаемого из продуктов химической переработки и последующего осахаривания древесины. Также известны и широко применяются синтетические методы получения этилового спирта из крекинг-газов, ацетилен и природных газов.

Спирт-сырец содержит в себе воду и сивушные масла, а также тяжелые продукты брожения с характерным неприятным запахом. Дальнейшей очисткой и повторной перегонкой спирт-сырец превращают в ректификованный спирт с содержанием алкоголя 94–96%.

Этиловый спирт хорошо смешивается с водой во всех соотношениях и является хорошим растворителем для некоторых смол, шеллака, бакелита, канифоли, но чаще применяется в смеси с ароматическими растворителями, в частности как разбавитель эфиров целлюлозы.

Бутиловый спирт ( $C_4H_9OH$ ), или бутанол, получается обычно путем брожения крахмалистых веществ под влиянием микроба – возбудителя брожения, а также и синтетическим путем. Бутанол – бесцветная жидкость с запахом спирта и сивушного масла, растворяется в воде в соотношении 1:12, менее летуч и имеет более высокую температуру кипения, чем этиловый спирт. Обладает хорошей растворяющей способностью и применяется в смеси с другими растворителями для смоляных и эфирцеллюлозных лаков. Бутанол понижает вязкость растворов и улучшает блеск пленки.

Другие спирты, главным образом высшие – изоамиловый ( $C_5H_{11}OH$ ) и др., используются в производстве эфирцеллюлозных лаков.

### Сложные эфиры (ацетаты)

К этой группе принадлежат растворители, получаемые путем синтеза из органических кислот (преимущественно, уксусной) и спиртов. Применяются они главным образом в качестве растворителей для эфиров целлюлозы. Их названия: этилацетат, бутилацетат, амилацетат. Для растворения и разбавления лаков из эфиров целлюлозы а также их композиций со смолами, находят широкое применение смеси ацетатов со спиртами и ароматическими растворителями.

### Простые эфиры

Гликолевые эфиры являются растворителями эфирцеллюлозных, поливинилацеталевых и других смол. Они нейтральны, не имеют запаха и хорошо смешиваются с другими растворителями. Из этих эфиров этиленгликоля следует отметить моноэтиловый эфир этиленгликоля ( $C_2H_5OC_2H_4OH$ ), или этилцеллозольв.

Этот эфир смешивается с водой и углеводородами в любых соотношениях. Обладает хорошей растворяющей способностью и является хорошим растворителем для нитроцеллюлозы, полиэфирных смол, эпоксино-полиэфирных лаков и др.

### Кетоны

Ацетон ( $CH_3COCH_3$ ) получается при сухой перегонке кальциевых солей уксусной кислоты, брожении углеводов, а также из уксусной кислоты. Ацетон весьма летуч, смешивается с водой во всех соотношениях и является весьма активным растворителем для ряда пленкообразующих веществ, в том числе для эфиров целлюлозы и многих синтетических смол. В лаках ацетон применяется обычно в смеси с другими, более высококипящими растворителями.

### Хлорированные углеводороды

Дихлорэтан ( $C_2H_4Cl_2$ ) получается при взаимодействии этилена с хлором. Он представляет собой прозрачную бесцветную жидкость, которая хорошо растворяет жиры и большинство смол. Как разбавитель, дихлорэтан применяется для эфиров целлюлозы в смеси со спиртом. Трудно воспламеняется, пары его очень токсичны, по запаху напоминает хлороформ.

Хлорбензол ( $C_6H_5Cl$ ) получается хлорированием бензола в присутствии железа или алюминия. Смешивается со многими растворителями, растворяет эфиры целлюлозы и виниловые смолы.

В таблице 4 приведены составы большинства промышленных растворителей.

### Клей для оргстекла и других видов пластмасс

В заключение хотелось бы пожелать при составлении различных растворов использовать по возможности менее ядовитые соединения и обращать повышенное внимание на пожаробезопасность. Это поможет сохранить не только здоровье, но также избежать несчастных случаев. В качестве удачного примера можно привести малотоксичный и весьма активный растворитель – мономер метилметакрилата.

Оргстекло (плексиглас, полиметилметакрилат) растворяется в сложных эфирах, ароматических углеводородах (например, бензоле, толуоле, ксилоле), кетонах (например, ацетоне). Поэтому все эти растворители пригодны для склеивания и ни в коем случае не годятся для протирания оргстекла. Если есть необходимость его почистить, воспользуйтесь водой или спиртом. Однако эфира, ацетона, толуола может и не оказаться под рукой. Тогда сделайте клей сами. При температуре выше  $200^\circ C$  полиметилметакрилат деполимеризуется, то есть разрушается и образует пары мономера метилметакрилата ( $CH_2=C(CH_3)COOCH_3$ ), кипящего при  $100,6^\circ C$ . Если собрать несложный прибор из стеклянной круглодонной колбы и охлаждаемой отводной трубки, то пары можно сконденсировать. При этом получается жидкость, красочно совмещаемая с полимером, – идеальный клей. Для тех, кто захочет воспользоваться этим советом, напомним, что метилметакрилат горюч, поэтому его перегонку следует проводить на закрытом источнике тепла – электрической плитке – и в хорошо проветриваемом помещении.

Сополимер метил- и бутилметакрилата – он же клей “бутакрил технический” ТУ-60304-73 – нетоксичен, предназначен для ремонта медицинской и пищевой аппаратуры.

Для приготовления клея достаточно растворить в мономере 2–4% мелких опилок или стружки пластмассы, которую необходимо склеить. Прочность шва при этом будет очень высокой, соизмеримой со сварными соединениями.

Автор выражает особую благодарность и признательность всем участникам Fido-конференции su.hit.mldnet.com за прямое и косвенное участие в написании данной статьи.

**Александр Воробьев,**  
alex@hit.mldnet.com,  
Fido-Net 2:469/15.30

# Универсальное устройство отладки микропроцессорных систем на основе микроконтроллеров семейства HC908 фирмы Motorola

*Известно, что время разработки новой микропроцессорной системы в значительной степени определяется наличием полнофункциональных средств отладки [1].*

Для своего нового семейства 8-разрядных микроконтроллеров HC908 с flash-памятью [2, 3] фирма Motorola предлагает программно-аппаратные средства следующих типов:

- внутрисхемные симуляторы ICS (In-Circuit Simulator);
- внутрисхемные эмуляторы типа MMEVS (Motorola Modular Evaluation System);
- внутрисхемные эмуляторы типа MMDS (Motorola Modular Development System).

Каждое упомянутое средство способно полностью имитировать работу выбранной пользователем модели микроконтроллера. Метод отладки предполагает замещение реального устройства программно-аппаратными средствами платы отладочной системы. Управление ходом выполнения прикладной программы и отображение всей необходимой при этом информации осуществляется на инструментальном компьютере с соответствующей программной оболочкой. Непосредственное подключение отладочного средства к целевой плате выполняется с использованием многожильного высокочастотного кабеля, переходная головка которого вставляется в розетку для микроконтроллера на целевой плате.

При полной свободе выбора разработчик со стажем предпочтет внутрисхемный эмулятор, поскольку он позволяет производить отладку в реальном масштабе времени. Но даже "экономичные" MMEVS достаточно дороги (порядка \$1500), к тому же при смене модели микроконтроллера в пределах семейства HC908 они требуют замены почти половины аппаратных средств.

Внутрисхемные симуляторы ICS08 относительно дешевы. Средняя стоимость подобных устройств на сегодняшний день составляет от \$450. Они имеют несколько режимов отладки и, что очень важно, содержат в себе программатор. Но отладка с их использованием может происходить только в замедленном масштабе времени. Комплекты ICS08 специализированы для ряда микроконтроллеров одной серии. Например, ICS08MR позволяет отлаживать системы с чипами моделей HC908MR32, HC908MR16 и HC908MR8. Переход к модели другой серии, например HC908JL3 или HC908GP32, потребует приобретения нового комплекта ICS08 [2].

Можно ли создать универсальное

отладочное средство для семейства HC908, инвариантное по отношению к модели микроконтроллера? Анализ режимов работы устройств семейства HC908 и особенностей построения фирменных средств отладки для них вопрос и предложить минимально необходимую конфигурацию аппаратных средств, реализующую идею построения универсальной отладочной платы. Важно отметить, что предлагаемое универсальное отладочное средство может работать под управлением фирменного бесплатного программного обеспечения, которое входит в комплект ICS08 и находится на сайте фирмы Motorola по адресу <http://mot-sps.com>. Поэтому стоимость такого универсального средства отладки не превышает \$20. Последнее практически снимает все ограничения по их доступности для разработчиков.

Предлагаемое решение наиболее полно использует потенциальные возможности микроконтроллеров семейства HC908 по программированию и отладке в системе. Плата универсального устройства отладки содержит в себе интерфейс сопряжения микроконтроллера с компьютером по RS-232 и некоторый набор дополнительных логических схем. При этом отлаживаемый чип расположен на плате разрабатываемого изделия. Подключение большей части его выводов к интерфейсным компонентам ничем не отличается от аналогичного в рабочем режиме. Для подключения к универсальному устройству программирования и отладки необходимо реализовать лишь минимальные аппаратные "добавки" на плате самой отлаживаемой системы.

Ниже кратко представлены основные положения, используемые при реализации технологии внутрисхемного программирования и отладки микроконтроллеров семейства HC908.

Особенности семейства HC908 с точки зрения процесса программирования и отладки

Любой микроконтроллер семейства HC908 с flash-памятью программ имеет специальный режим работы – отладочный режим (Monitor Mode). В этом режиме активизируется записанная в память микросхемы на этапе производства программа монитора отладки, содержащая в себе подпрограмму драйвера обмена по однопроводной двунаправ-

ленной линии и подпрограмму выполнения шести команд отладки, которые поступают в нее по этому однопроводному интерфейсу [2]. С использованием команд отладки может быть создано специальное программное обеспечение, позволяющее выполнять следующие действия:

- запустить прикладную программу управления, если она загружена в микроконтроллер, на выполнение с заданного адреса в реальном времени и, используя модуль прерываний по контрольным точкам в составе устройства, остановить ее в желаемой контрольной точке;
- передать в компьютер верхнего уровня состояние регистров центрального процессора и ячеек памяти после останова в контрольной точке;
- загрузить в ОЗУ микроконтроллера по однопроводному интерфейсу программу стирания/программирования flash-памяти программ и, передавая коды прикладной программы или таблиц данных порциями, осуществить программирование резидентной flash-памяти микроконтроллера объемом вплоть до 60 Кбайт.

Следует подчеркнуть, что программная и аппаратная поддержка отладочного режима работы микроконтроллера в минимальной степени использует те ресурсы, которые предназначены для реализации прикладного алгоритма, ввиду того что:

- область памяти программы резидентного монитора отладки не пересекается с адресным пространством flash-памяти прикладной программы;
- при работе программы встроенного монитора отладки не используются ячейки ОЗУ;
- для программирования flash и EEPROM памяти микроконтроллера не требуется подключения источника повышенного напряжения, т. к. устройства имеют в своем составе повышающий программно-управляемый преобразователь;
- четыре линии портов ввода/вывода используются для перевода микросхемы в отладочный режим работы, но только одна линия не может быть использована для управления объектом при отладке прикладной программы с использованием отладочного режима работы – это линия двунаправленного однопроводного интерфейса;
- для вхождения микроконтроллера в отладочный режим работы необходим один источник повышенного напряжения  $V_{TST}$ .

Таким образом, при условии создания специального программного обеспечения для персонального компьютера, отладочный режим работы микроконтроллера позволяет создать программатор и отладчик реального времени с использованием только внутренних ресурсов микросхемы и минимально ограничивающий возможность полного использования ее ресурсов для решения

задачи управления.

Отмеченные свойства микроконтроллеров HC908 позволяют:

- реализовать самую современную и при этом дешевую технологию отладки микропроцессорной системы;
- получить высокие технико-экономические показатели конечного изделия, т. к. переходная колодка для установки предварительно запрограммированного на специальном программаторе микроконтроллера становится принципиально ненужной; чип может в незапрограммированном состоянии паяться на плату конечного изделия и лишь потом программироваться, а в случае необходимости – дополнительно отлаживаться и перепрограммироваться.

Малые затраты в процессе разработки (устройство отладки почти ничего не стоит), возможность сохранения интеллектуальной собственности при высокотехнологичном изготовлении конечного устройства (пайка в заводских условиях миниатюрного корпуса для планарного монтажа с последующим программированием уже готового изделия) делают описанную технологию отладки крайне привлекательной.

**Реализация режима программирования и отладки в системе средствами комплекта внутрисхемного симулятора ICS08 от Motorola**

Рассмотренный выше отладочный режим работы (Monitor Mode) в полной мере использует комплект внутрисхемного симулятора ICS08xx (xx – серия микроконтроллера в пределах семейства HC908). В настоящее время фирмой Motorola реализованы пять типов внутрисхемных симуляторов: ICS08GP, ICS08MR, ICS08JL/JK, ICS08RK, ICS08JB. Аппаратные средства перечисленных симуляторов ICS08xx имеют одинаковую структуру (рис. 1).

Аппаратные средства внутрисхемного симулятора включают четыре функциональных блока:

- преобразователь RS-232;
- генератор повышенного тестового напряжения  $V_{TST}$ ;
- блок схем для ввода чипа в отладочный режим;
- набор розеток для всех типов микроконтроллеров данной серии в различных корпусах.

Три первых функциональных блока практически идентичны для любого чипа семейства HC908. Основное различие комплектов симуляторов ICS08xx для различных моделей микроконтроллеров состоит в наборе розеток и линеек переходных разъемов от них к плате разрабатываемого изделия. Общая часть на рис. 1 выделена цветом.

При этом аппаратные средства внутрисхемных симуляторов реализуют три технологии:

1. Программирование чипа в розетке внутрисхемного симулятора. Затем

микроконтроллер должен быть вынут из розетки платы отладочного средства и вставлен в розетку платы изделия.

2. Отладка в замедленном масштабе времени. При этом микроконтроллер находится в розетке внутрисхемного симулятора. Гибкий кабель (на рис. 1 обозначен 1) связывает плату ICS с платой разрабатываемого изделия, причем переходная головка кабеля вставлена в розетку микроконтроллера на плате изделия.

3. Отладка в реальном масштабе времени. При этом чип находится на плате разрабатываемого изделия. Гибкий кабель 2 связывает плату ICS со специально выполненным на плате изделия отладочным разъемом (16 контактов). В этом же режиме возможно также программирование микроконтроллера на плате конечного изделия.

Заметим, что в последнем режиме используется общая часть аппаратных средств внутрисхемных симуляторов, которая практически идентична для всех устройств семейства HC908. Именно эта идея реализована в предлагаемой универсальной плате отладчика. Таким образом, она представляет собой программатор и отладчик для всех микроконтроллеров семейства HC908 в системе. Программное обеспечение для разных типов чипов имеется в составе разных комплектов ICS08xx и, как было уже отмечено ранее, является бесплатным и может быть получено с сайта фирмы Motorola.

Сервисные возможности отладки с использованием предлагаемой технологии несколько сужены. На каждом этапе отладки возможно проставление лишь одной контрольной точки. Но при этом реализуется отладка в реальном времени в системе. Для большинства разрабатываемых устройств с объемом памяти программы до 10 Кбайт, при наличии в составе ICS08xx хорошего бесплатного программного симулятора с возможностью симуляции и развитием сервисом контрольных точек, предлагаемая технология отладки вполне приемлема. Она имеет также и дополнительное преимущество.

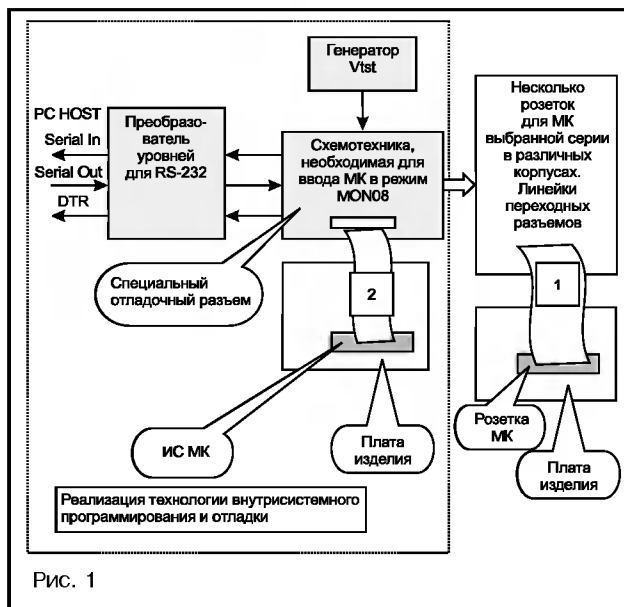


Рис. 1

Дело в том, что на этапе совместной отладки встраиваемой системы с объектом управления не всегда имеется возможность замещения микроконтроллера с использованием многожильного высокочастотного кабеля. Но отладка в реальном времени при этом принципиально необходима. Самый яркий пример – устройства управления силовой электроники. Выполнение миниатюрного устройства отладки в качестве мезонина к основной плате и размещение его в конструктиве силового преобразователя позволяет решить проблему.

На рис. 2 представлена структура аппаратных средств для отладки с применением предлагаемой универсальной платы отладчика. Принципиальная схема переходной платы отладчика представлена на рис. 3. Выполненная в виде макетного образца, она продемонстрировала свою способность работать с тремя типами микроконтроллеров (HC908GP32, HC908JL3, HC908MR32) как в режиме отладки, так и в режиме программирования. Управление осуществлялось под действием стандартного программного обеспечения Debug08 из пакетов для ICS08. Вид 10-контактного разъема переходной платы отладчика показан на рис. 4.

При этом для разных микроконтролле-

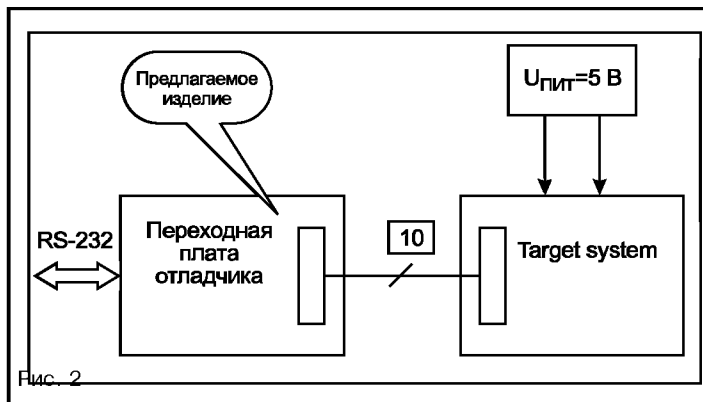


Рис. 2

Таблица 1

Тип микроконтроллера	PTx1*	PTx2	PTx3	PTx4	PTx5
HC908GP32/20	PTC0	PTC1	PTC3	PTA7	PTA0
HC908JL3/JK3/JK1	PTB1	PTB2	PTB3	–	PTB0
HC908MR32/24	PTC3	PTC4	PTC2	–	PTA0

\*Цветом выделены те линии, которые после входа чипа в отладочный режим могут быть использованы для управления объектом.

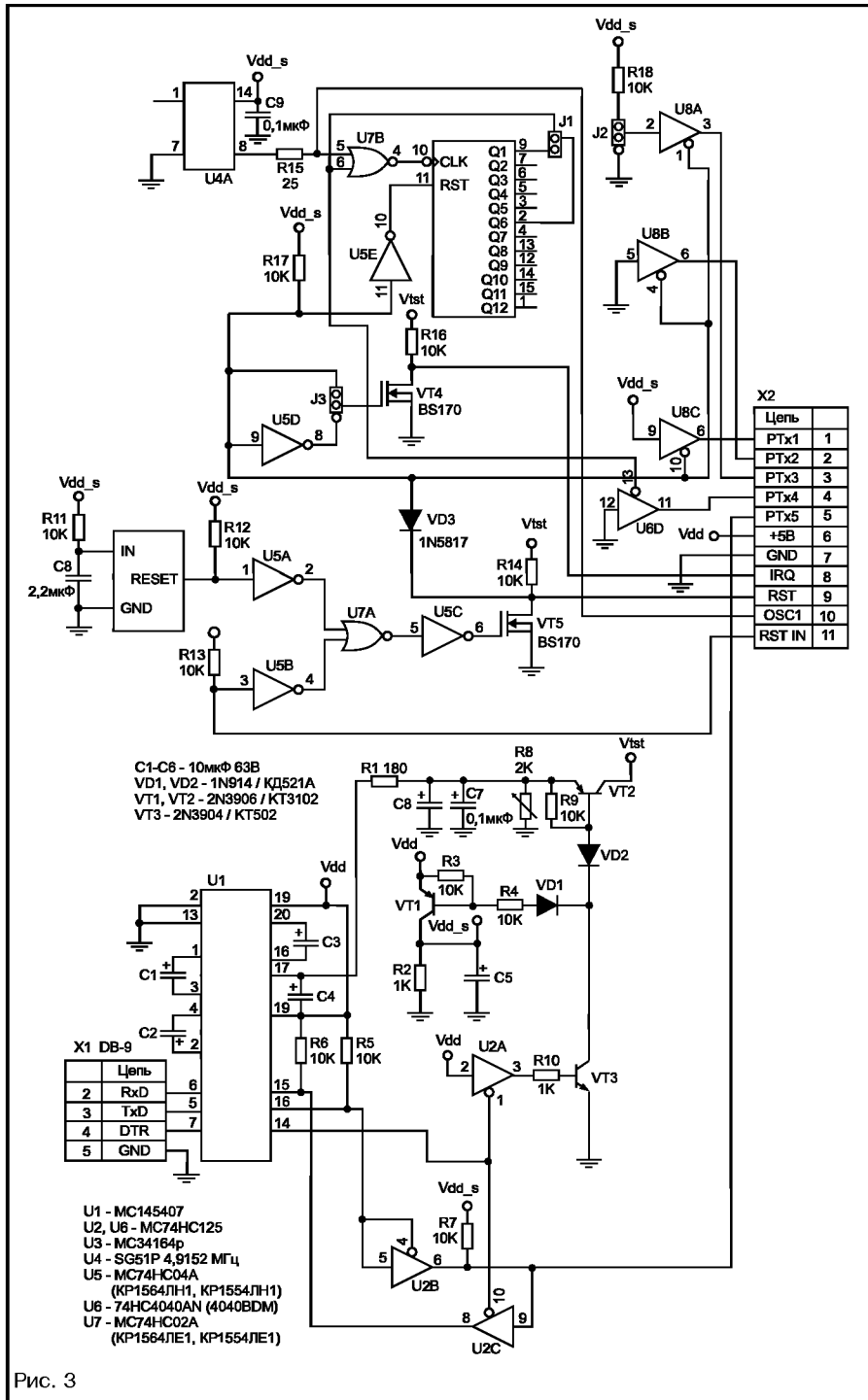


Рис. 3

ров на выводы PTx должны быть подключены разные выводы чипа (Табл. 1).

## Заключение

Предлагаемая переходная плата универсального отладчика использует рекомендованную фирмой Motorola схе-

мотехнику для программирования и отладки в реальном времени микроконтроллеров семейства HC908. Плата предполагает использование стандартного бесплатного программного обеспечения, рекомендуемого фирмой Motorola для отладки устройств на базе

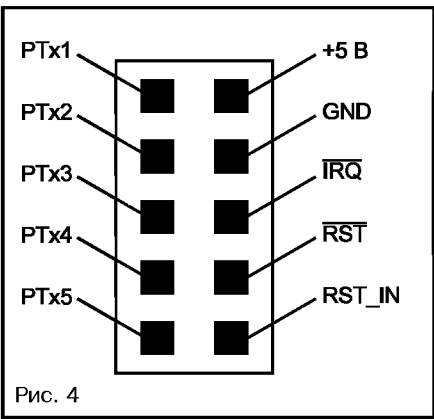


Рис. 4

чипов рассматриваемого семейства. Исключение большого количества различных типов разъемов (по сравнению с модулями ICS08xx) и применение одного разъема с таблицей подключения выводов различных микроконтроллеров на контакты PTx позволяет существенно уменьшить стоимость платы и использовать ее как универсальное средство программирования и отладки. Появление новых чипов в семействе приведет лишь к соответствующему дополнению таблицы подключения выводов микроконтроллера к контактам PTx.

Плата рассчитана на достаточно опытного разработчика, поскольку предполагает уже на первом этапе отладки программно-аппаратных средств изготовление собственного макета, содержащего микроконтроллер и необходимый набор внешних аппаратных средств.

**Дмитрий Панфилов,**  
**Ремизевич,**  
**Сергей Гаврилюк,**  
 webmaster@gaw.ru

## Литература

1. Ш. В. Кобахидзе. Нужны ли профессионалу инструментальные средства? – Инженерная микроэлектроника. 1998, №1, с. 2–10.
2. Т. В. Ремизевич. Микроконтроллеры для встраиваемых приложений. От общих подходов к семействам HC05 и HC08 фирмы Motorola. – М.: Додэка, 2000. – с. 272.
3. Т. В. Ремизевич. Микроконтроллеры семейства HC08 фирмы Motorola. – Инженерная микроэлектроника. 1999, №4, с. 43–50.

# Применение ЖК-модулей МТ10Т7-7 в измерительных приборах на основе микроконтроллеров серии AVR AT90S8535

В журнале "Схемотехника" №2/2000 была опубликована статья, которая знакомила читателей с довольно удобным модулем ЖК МТ10Е7-7. Она показалась очень интересной, но смутил тот факт, что описано было подключение и работа модуля с микроконтроллером серии MCS-51. Безусловно, эта серия еще достаточно широко используется, однако, по мнению автора, новые разработки целесообразнее делать на базе более современных микроконтроллеров. В частности, в настоящей статье предлагается для рассмотрения вариант работы модуля МТ10Т7-7 с микроконтроллером AT90S8535. Здесь не будет рассматриваться структура самого ЖК-модуля, поскольку это достаточно подробно было сделано Владимиром Уголевым в вышеупомянутой статье. Вместо этого более детально будет рассказано о схеме подключения и программе работы с модулем.

Модуль подключается к порту В микроконтроллера (рис. 1). Выбор порта – произвольный. При желании его легко заменить на любой другой порт данного микроконтроллера, изменив, соответственно, программу управления модулем.

Для удобства работы составим набор подпрограмм для выполнения основных операций с модулем:

```

;*****
;* Подпрограмма: STROB_WR1
;* Описание:
;* Подпрограмма формирования
;stroba по линии WR1
;* WR1:  ___/___
;* Применяется при записи знако-
;места
;*****
STROB_WR1:
sbi    PORTB,WR1
; Установить "1" на линии WR1
rcall  delay
; Задержка для установления напряжения
cbi    PORTB,WR1
; Установить "0" на линии WR1
ret

;*****
;* Функция: STROB_ADR
;* Описание:
;* Подпрограмма формирования
;stroboв по линиям WR1 и ADR
;* A0  ___/___
;* WR1 ___/___
;* Применяется при записи адре-
;са
;*****
STROB_ADR:
cbi    PORTB,A0
rcall  delay
sbi    PORTB,WR1
rcall  delay
cbi    PORTB,WR1
rcall  delay
sbi    PORTB,A0
ret

;*****
;* Функция Set_Bus
;* Описание
;* Вывод младшей тетрады
;*****

```

```

;* A на шину DB
;*****
Set_Bus:
; Bit 0
sbrc   A,0
; Пропустить, если бит 0 в A = '0'
rjmp   Set1
; Переходим на установку в '1'
cbi    PORTB,DB0
; Установка DB0='0'
rjmp   t0
; Пропускаем установку в '1'
Set1:  sbi    PORTB,DB0
; Установка DB0='1'
t0:
; Bit 1
sbrc   A,1
; Пропустить, если бит 1 в A = '0'
rjmp   Set2
; Переходим на установку в '1'

```

```

cbi    PORTB,DB1
; Установка DB1='0'
rjmp   t1
; Пропускаем установку в '1'
Set2:  sbi    PORTB,DB1
; Установка DB1='1'
t1:
; Bit 2
sbrc   A,2
; Пропустить, если бит 2 в A = '0'
rjmp   Set3
; Переходим на установку в '1'
cbi    PORTB,DB2
; Установка DB2='0'
rjmp   t2
; Пропускаем установку в '1'
Set3:  sbi    PORTB,DB2
; Установка DB2='1'
t2:
; Bit 3
sbrc   A,3
; Пропустить, если бит 3 в A = '0'
rjmp   Set4
; Переходим на установку в '1'
cbi    PORTB,DB3
; Установка DB3='0'
rjmp   t3
; Пропускаем установку в '1'
Set4:  sbi    PORTB,DB3
; Установка DB3='1'
t3:    ret

```

Так как после включения питания состояние модуля не определено, необходимо произвести начальную инициализацию модуля. Для этого применяем подпрограмму Init\_LCD:

```

;*****
;* Функция Init_LCD
;* Описание
;* Инициализация
;* Запись в триггер блокировки
;шины
;* BLK (по адресу 0Fh) значения
;01h

```

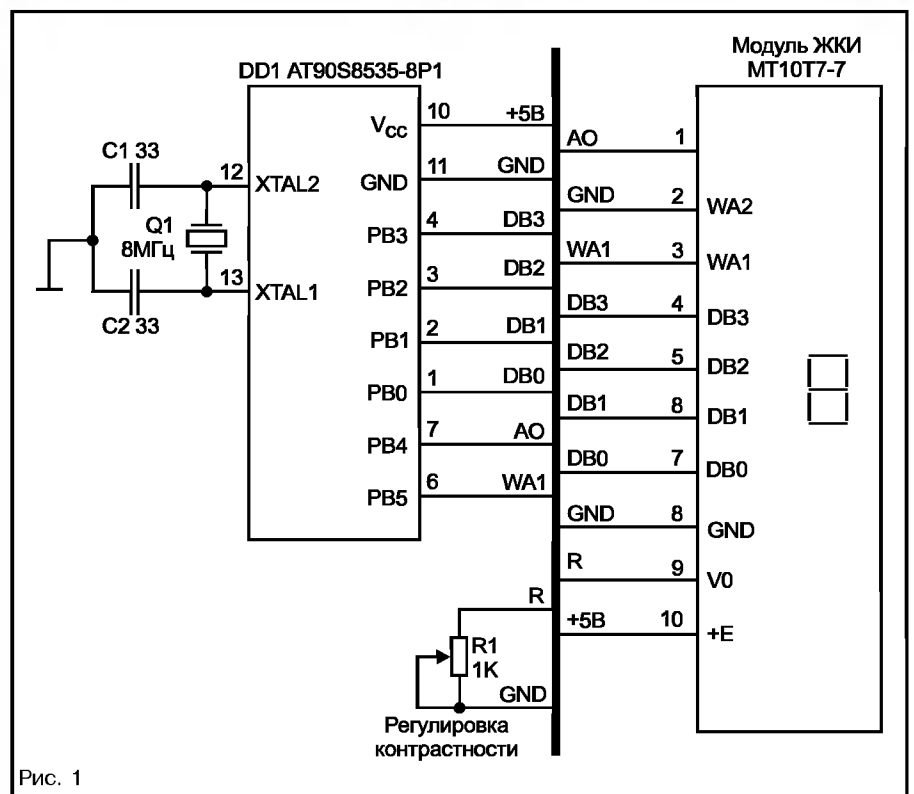


Рис. 1

```

;*      и в регистры всех знакомест Sgx
(адреса 0h-9h) нули
;
;*****
; Init_LCD:
;      ldi      A,0x0f
;      rcall   Set_Bus      ; Ус-
тановить адрес 0x0f
;      rcall   STROB_ADR
;      ldi      A,0x01
;      rcall   Set_Bus      ; Установить
данные 0x01
;      rcall   STROB_WR1
;      clr     A            ;
сброс всех знакомест
;      rcall   Set_Bus      ; вы-
ставить на шину 0
;      rcall   STROB_ADR      ;
формируем строб записи адреса
; На шине уже выставлен 0
; формируем 20 раз строб данных
STROB_WR1
;      clr     temp
;      c20: rcall STROB_WR1 ;
строб данных
;      inc     temp        ;
temp = temp + 1
;      cpi     temp,20     ;
сравниваем temp с числом 20
;      brne   lhl_int     ;
если не равно, переходим на c20
;      ret

```

Поскольку модуль MT10T7-7 имеет четырехразрядную шину данных, для работы с ним потребуется подпрограмма вывода в порт микроконтроллера по тетрадам:

```

;*****
;*      Функция out_a
;*      Описание
;*      Вывод в порт по тетрадам
;*****
; out_a:
;      rcall   Set_Bus      ; вы-
ставляем в порт младшую тетраду
;      rcall   STROB_WR1   ; ге-
нерируем первый строб записи данных
;      rcall   delay      ;
временная задержка
;      swp    A            ; пе-
реставление местами тетрад в A
;      rcall   Set_Bus      ; вы-
ставляем в порт старшую тетраду
;      rcall   STROB_WR1   ; ге-
нерируем второй строб записи данных
;      rcall   delay      ;
;      ret

```

Для преобразования одноразрядного двоично-десятичного числа в код, который необходимо подать для индикации на модуле данного числа, используем подпрограмму Coder:

```

;*****
;*      Функция Code_7
;*      Описание
;*      Преобразование в семисегментный код. Вход: temp; Выход: temp
;*****
; Code_7: ;fcbh, adeg 0xee, 0x2f,
; 0x60,0x6d,0xe1 ;0,1,2,3,4
; 0xcd,0xcf,0x68,0xef,0xed
; 5,6,7,8,9
; Coder: cpi     temp,0x0
;        brne   q1
; если не равно 0
;        ldi     temp,0xee

```

```

; q1: rjmp   rend
;      cpi     temp,0x1
;      brne   q2
; если не равно 0
;      ldi     temp,0x60
;      rjmp   rend
; q2: cpi     temp,0x2
;      brne   q3
; если не равно 0
;      ldi     temp,0x2f
;      rjmp   rend
; q3: cpi     temp,0x3
;      brne   q4
; если не равно 0
;      ldi     temp,0x6d
;      rjmp   rend
; q4: cpi     temp,0x4
;      brne   q5
; если не равно 0
;      ldi     temp,0xe1
;      rjmp   rend
; q5: cpi     temp,0x5
;      brne   q6
; если не равно 0
;      ldi     temp,0xcd
;      rjmp   rend
; q6: cpi     temp,0x6
;      brne   q7
; если не равно 0
;      ldi     temp,0xcf
;      rjmp   rend
; q7: cpi     temp,0x7
;      brne   q8
; если не равно 0
;      ldi     temp,0x68
;      rjmp   rend
; q8: cpi     temp,0x8
;      brne   q9
; если не равно 0
;      ldi     temp,0xef
;      rjmp   rend
; q9: cpi     temp,0x9
;      brne   rend
; если не равно 0
;      ldi     temp,0xed
;      rjmp   rend
; rend: ret

```

Для подготовки числа к индикации используем функцию Prepare:

```

;*****
;*      Функция: prepare
;*      Описание
;*      Подпрограмма подготовки числа к индикации
;*      b20, b21, ..., b29 – ячейки оперативной памяти, содержащие коды цифр
;*      содержащие двоично-десятичные коды цифр
;*****
; prepare:
; ; Заменяем двоичный код на семисегментный
;      lds     temp,b20
;      rcall   Coder
;      sts     b20,temp
;      lds     temp,b21
;      rcall   Coder
;      sts     b21,temp
;      lds     temp,b22
;      rcall   Coder
;      sts     b22,temp
;      lds     temp,b23
;      rcall   Coder
;      sts     b23,temp
;      lds     temp,b24
;      rcall   Coder
;      sts     b24,temp
;      lds     temp,b25

```

```

;      rcall   Coder
;      sts     b25,temp
;      lds     temp,b26
;      rcall   Coder
;      sts     b26,temp
;      lds     temp,b27
;      rcall   Coder
;      sts     b27,temp
;      lds     temp,b28
;      rcall   Coder
;      sts     b28,temp
;      lds     temp,b29
;      rcall   Coder
;      sts     b29,temp

```

ret

Функция вывода цифр на индикатор имеет вид:

```

;*****
;*      Функция: Display
;*      Описание
;*      Вывод числа на индикатор
;*****
; Display:
; ; Подготовка числа к индикации
;      rcall   Prepar
;      rcall   Set_Bus
;      rcall   STROB_ADR
; ; Выводим последовательно все 10 цифр
;      lds     A,b20
;      rcall   Out_a
;      lds     A,b21
;      rcall   Out_a
;      lds     A,b22
;      rcall   Out_a
;      lds     A,b23
;      rcall   Out_a
;      lds     A,b24
;      rcall   Out_a
;      lds     A,b25
;      rcall   Out_a
;      lds     A,b26
;      rcall   Out_a
;      lds     A,b27
;      rcall   Out_a
;      lds     A,b28
;      rcall   Out_a
;      lds     A,b29
;      rcall   Out_a
;      ret

```

```

;*****
;*      Функция: delay
;*      Описание:
;*      Формирование небольшой задержки
;*****

```

```

; delay: ldi     temp2,0x0f
; dl:    dec     temp2
;        brne   dl
;        dec     temp1
;        brne   delay
;        ret

```

Итак, наконец, мы подошли к завершающей части – подпрограмме вывода заданных в 5 байтах оперативной памяти в виде 10 четырехразрядных двоично-десятичных кодов цифр на модуль MT10T7-7:

```

;*****
;*      Функция Output_Digit
;*      Описание
;*      подпрограмма вывода заданных в 5 байтах оперативной памяти в виде 10 четырехразрядных
;*****

```

двоично-десятичных кодов цифр

```
;*      на модуль MT10T7-7
;*      Внимание: для нормальной работы
;*      требует чтобы был установлен стек,
;*      так как используются подпрограммы
```

```
*****
```

```
Output_Digit:
    ser      temp 1
```

```
; Инициализация порта В
    out     DDRB,temp 1
```

```
; для работы на вывод
    out     PORTB,temp 1
```

```
; по всем линиям
```

```
    rcall   Init_LCD
    rcall   Display
```

```
; Собственно, вывод на индикатор
    ret
```

Пример использования данной подпрограммы:

```
*****
```

```
;* PROGRAM
*****
```

```
.include "8535def.inc"
.DSEG ; Буфер для
```

```
символьного значения для вывода на ЖКИ
```

```
b20: .BYTE 1
b21: .BYTE 1
b22: .BYTE 1
b23: .BYTE 1
b24: .BYTE 1
b25: .BYTE 1
b26: .BYTE 1
b27: .BYTE 1
```

```
b28: .BYTE 1
b29: .BYTE 1
```

```
; Описание номеров битов порта В, под-
```

```
ключенных к индикатору
```

```
.equ WR1 = 5
.equ A0 = 4
```

```
.equ DB0 = 0
.equ DB1 = 1
.equ DB2 = 2
.equ DB3 = 3
```

```
; Описание переменных
```

```
.def A =r16
.def temp =r17
.def temp 1 =r18
```

```
.def temp2 =r19
```

```
main:
.CSEG
```

```
; Инициализация стека
    ldi    r16,high(RAMEND)
```

```
; Старший байт
    out    SPH,r16
```

```
; Младший байт
    ldi    r16,low(RAMEND)
    out    SPL,r16
```

```
    rcall Init_LCD ;
```

```
Инициализация индикатора
```

```
; Зададим тестовое задание. В ячейках
b20...b29 находятся коды цифр, которые
хотим вывести на индикатор.
```

```
    ld    temp,0x0
    sts  b20,temp
    ld    temp,0x1
    sts  b21,temp
    ld    temp,0x2
    sts  b22,temp
```

```
    ld    temp,0x3
```

```
    sts  b23,temp
    ld    temp,0x4
```

```
    sts  b24,temp
    ld    temp,0x5
```

```
    sts  b25,temp
    ld    temp,0x6
```

```
    sts  b26,temp
    ld    temp,0x7
```

```
    sts  b27,temp
    ld    temp,0x8
```

```
    sts  b28,temp
    ld    temp,0x9
```

```
    sts  b29,temp
    rcall OutputDigit
```

```
; Вызов процедуры индикации
end: rjmp end
```

```
; Закичивание программы
```

В результате выполнения программы на индикаторе должны отобразиться цифры от 0 до 9.

Следует отметить, что автор не ставил целью написать оптимальный вариант данной подпрограммы. В частности, оптимизировать ее можно следующими способами:

- 1) оформив повторяющиеся фрагменты в виде циклов или макросов;
- модифицировав программу для использования исходных данных в виде стандартного BCD формата, т. е. когда в каждом байте находятся коды двух цифр.

Исходный текст данной программы читатели могут найти по адресу: [www.platan.ru/shem/](http://www.platan.ru/shem/)

# Статический светодиодный индикатор

При проектировании устройств на микропроцессорах PIC, AVR с ограниченным количеством используемых выводов, а также в устройствах, где применение динамической индикации приводит к нежелательным эффектам мерцания (движущийся автомобиль, промышленный прибор, работающий при свете ламп дневного света и т. д.) можно использовать статический индикатор.

Его также можно использовать в качестве выносного терминала с управлением от LPT и COM-порта персонального компьютера. Так как данные сохраняются в статических регистрах, легко организовать их индикацию при пропадании питания микроконтроллера.

Программа вывода на индикатор предельно проста и не занимает ресурсы процессора в отличие от динамической индикации. Управление индикатором производится по двум линиям: DI и Clk.

Индикатор представляет собой набор сдвиговых регистров с подключенными к ним цифровыми семисегментными светодиодными индикаторами. Устройство имеет следующие управляющие входы:

- DI – вход сдвигового регистра;
- Clk – вход стробирования данных;
- ST – вход загрузки данных (используется при каскадировании).

Данные последовательно выводятся по линии DI начиная с младшего разряда. Каждый бит стробируется положительным перепадом на линии Clk. При записи 0 в какой-либо разряд, соответствующий ему сегмент на индикаторе начинает светиться. Например, для вывода символа "2" последовательно подаем на вход DI 10100100, стробируя каждый бит по входу Clk.

Соответствие сегментов индикатора записываемым разрядам данных: A–D0, B–D1, C–D2, D–D3, E–D4, F–D5, G–D6, H–D7.

Конструкция индикатора позволяет увеличить число знаков мест простым каскадированием, при этом для одновременной загрузки данных в регистры и исключения "промаргивания" при сдвиге используется вывод ST.

Схема индикатора приведена на рис. 1. В качестве регистров используются микросхемы CD4094 (1561ПП1) или аналогичные. Индикаторы лучше использовать с повышенной яркостью свечения с номинальным током на сегмент 5 мА.

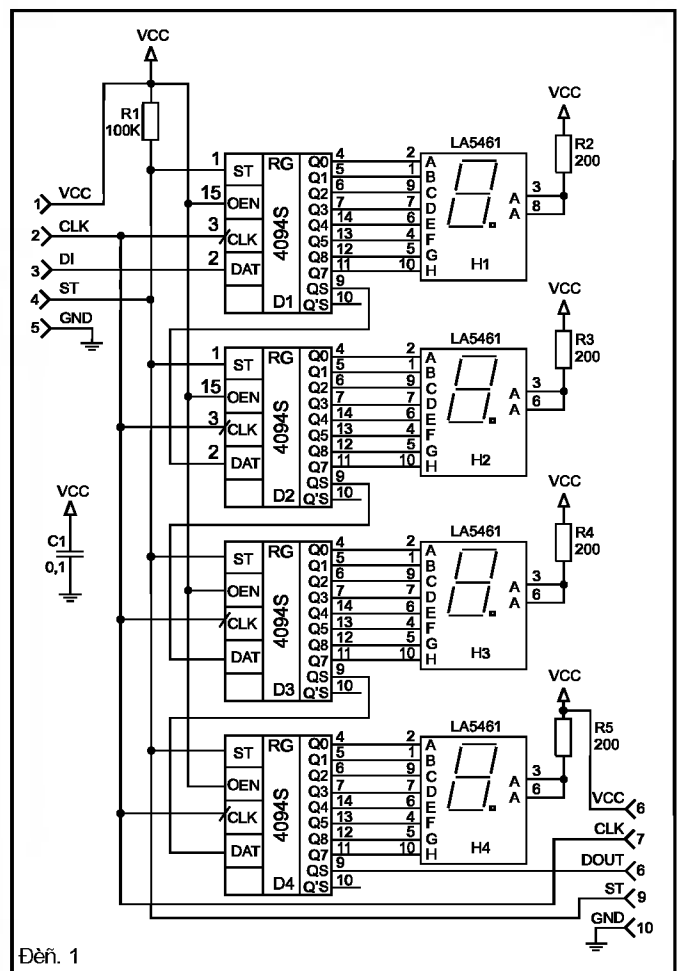
Ниже приведен пример драйвера вывода на индикатор для AVR-процессоров на языке C.

```
//
//-----
// Модуль работы со светодиодным индикатором
//-----
//
```

```
//работа с битами портов
#define SetBit(Port,bit) Port |= ( 0x01 << bit )
#define ClrBit(Port,bit) Port &= ( ~( 0x01 << bit ) )
#define RdBit(Port,bit) ( Port & ( 0x01 << bit ) )
//управление индикатором
#define CLKDISPON SetBit(PORTB,2)
#define CLKDISPOFF ClrBit(PORTB,2)
#define DIDISPON SetBit(PORTB,3)
#define DIDISPOFF ClrBit(PORTB,3)
#define LOADDISPON SetBit(PORTB,4)
#define LOADDISPOFF ClrBit(PORTB,4)
```

```
/* ShowSym */
void ShowSym (unsigned char c )
{
    unsigned char a,g;
    CLRWDT();
    switch ( c )
    {
        case '0': a = 0xC0; break;
```

```
case '1': a = 0xF9; break;
case '2': a = 0xA4 ; break;
case '3': a = 0xB0; break;
case '4': a = 0x99 ; break;
case '5': a = 0x92; break;
case '6': a = 0x82; break;
case '7': a = 0xF8; break;
case '8': a = 0x80; break;
case '9': a = 0x90; break;
case 'A': a = 0x88; break;
case 'B': a = 0x83; break;
case 'C': a = 0xc6; break;
case 'D': a = 0xa1; break;
case 'E': a = 0x86; break;
case 'F': a = 0x8e; break;
case '.': a = 0x7f; break;
default:return;
}
}
//выводим на индикатор
for(g=8;g!=0;g--)
{
    CLRWDT();
    if(a & 0x80)
        DIDISPON;
    else
        DIDISPOFF;
    CLKDISPOFF;
```



Дейн. 1

```

CLKDISPON;
a=a<< 1;
}
LOADDISPON; //загрузка в индикатор
LOADDISPOFF;
} //ShowSym

/*****
/* ClrDisp */
*****/
void ClrDisp(void)
{
    unsigned char i;
    //очистка дисплея
    CLRWDT();
    DIDISPON;
    for (i = 32;i!=0;i--)
    {
        CLKDISPOFF;
        CLKDISPON;
    }
    LOADDISPON;
    LOADDISPOFF;
}

/*****
/* ShowDigit */
*****/
void ShowDigit(unsigned int Digit)// 9999

```

```

{ //вывод 4-разрядного числа
CLRWDT();
ClrDisp();
if (Digit < 1000) ShowSym(' ');
else
    ShowSym(48+((Digit/1000)%10));
if (Digit < 100) ShowSym(' ');
else
    ShowSym(48+(Digit/100)%10);
CLRWDT();
if(Digit < 10) ShowSym(' ');
else
    ShowSym(48+((Digit/10)%10));
if(Digit < 1) ShowSym('0');
else
    ShowSym(48+(Digit%10));
} //ShowDigit

```

Примеры использования индикатора в промышленных контроллерах, счетчиках импульсов, регуляторах температуры можно посмотреть на сайте по адресу <http://www.chat.ru/~histarcorp>

**Александр Шипов,**  
[alex\\_shipov@mail.ru](mailto:alex_shipov@mail.ru),  
**Алексей Савостьянов,**  
[aleksey\\_sav@hotmail.ru](mailto:aleksey_sav@hotmail.ru)

# Стационарные часы реального времени с синхронизацией по радиоканалу

Стационарные часы реального времени с синхронизацией по радиоканалу разработаны для диспетчерского пункта аэропорта и предназначены для индикации времени по международному стандарту UTC.

Погрешность хода часов составляет не более  $\pm 0,3$  секунды в сутки. Синхронизация часов осуществляется по радиоканалу с использованием сигнала точного времени DCF77.

Конструктивно устройство, состоит из 8 блоков. Базовый блок осуществляет основные операции по дешифровке сигнала DCF77, корректирует работу внутренних часов, индицирует текущее время, осуществляет управление периферийными модулями. Периферийные модули используются двух типов: модуль SPI, транслирующий информацию о текущем времени на удаленные на 20–200 метров часы-индикаторы, и модуль RS-232, транслирующий информацию о текущем времени на модем.

Естественно, что применение часов не ограничивается только диспетчерскими пунктами аэропортов. Школы, предприятия, учреждения – это далеко не полный перечень возможных областей применения. Там, где необходима синхронная индикация текущего времени, описываемые часы решают поставленную задачу. При создании дополнительных модулей, имеющих функции управления объектами, появится возможность синхронного управления всевозможными устройствами.

## Сигнал DCF77

Передачик сигналов точного времени DCF77 расположен около города Франкфурт, Германия. Радиус действия передатчика составляет свыше 2000 километров. Сигнал передатчика уверенно принимается во многих странах Европы, в том числе и в европейской части России. Передатчик сигнала DCF работает непрерывно. В случае отказа основного передатчика трансляцию продолжает резервный, расположенный в 25 километрах от основного. Синхронизацию передатчика сигнала DCF77 обеспечивают атомные часы, установленные в национальном институте высоких технологий Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Германия. Максимальная погрешность атомных часов составляет не более  $\pm 1$  секунды за 300000 лет. Сигнал передатчика DCF77 юридически признан официальным эталоном точного времени в Германии.

Несущая частота передатчика DCF77 – 77,5 кГц. Кодированная информация сигнала DCF77 включает в себя минуты, часы, день, месяц, день недели, год. Полная информация передается в течение минуты. Информация о текущем времени передается следующим образом. В начале каждой секунды амплитуда несущей частоты 77,5 кГц уменьшается на 75% на период 100 или 200 мс. Серия маркеров, длительностью 100 и 200 мс, представляет собой двоичную систему кодирования.

Маркер длительностью 100 мс соответствует логическому 0, маркер длительностью 200 мс – логической 1. Информация о текущей дате и времени, а также о битах контроля четности и

битах статуса может декодироваться с 20 по 58 секунду каждой минуты. Отсутствие маркера на 59 секунде каждой минуты сигнализирует о том, что новая минута начнется со следующего маркера. На рис. 1 показан кодированный пакет маркеров, передаваемый в эфир передатчиком DCF77.

Маркер M всегда имеет длительность 100 мс, являясь стартовым маркером для блоков, содержащих информацию о текущем времени. Маркеры с 1 по 19 – служебные. Они содержат информацию о работе основного или резервного передатчика, о предстоящем переходе на летнее/зимнее время и т. д. Маркер S всегда имеет длительность 200 мс, сигнализируя о начале кодированного пакета, содержащего информацию о текущем времени, и нескольких контрольных маркеров. Информация передается связанными блоками (используется VCD-кодировка):

- 1 Minute – единицы и десятки единиц минут; маркер P1 – бит четности для блока Minute;
- 1 Hour – единицы и десятки единиц часов; маркер P2 – бит четности для блока Hour;
- 1 Day of Month – единицы и десятки единиц дней;
- 1 Day of Week – дни недели;
- 1 Month of Year – единицы и десятки единиц месяца;
- 1 Year of Century – единицы и десятки лет; маркер P3 – бит четности для блоков Day, Month, Year.

## Описание конструкции часов

В корпусе устройства установлены восемь модулей (рис. 2). Главный модуль (Main) обеспечивает питанием остальные, а также передает по внутренней шине часов управляющие сигналы для встроенных модулей. Модуль RS-232 передает информацию о текущем времени (год, месяц, число, часы, минуты) на модемный блок, который транслирует ее по телефонной линии на удаленные объекты. Модуль SPI передает информацию о текущем времени (часы, минуты, секунды) на девять цифровых часов-индикаторов по 4-проводной линии. Часы-индикаторы могут быть удалены от базового блока на расстояние 20–200 метров и подключены к линии параллельно. Мощности блока питания достаточно для обслуживания 20 цифровых часов-индикаторов. Часы-индикаторы имеют подсветку для работы в затемненных помещениях. Питание и управляющие сигналы они получают от базового блока Main. Пять гнезд для дополнительных модулей в данной модели свободны.

Основная задача при создании устройства заключалась в выборе источника стабилизации временных интервалов. Из трех источников внешней опорной частоты – сигналов точного времени радиовещательной сети, сигналов точного времени GPS и сигналов точного времени DCF77 – выбор пал на последний. Определяющими факторами для выбора пал на последний. Определяющими факторами для выбора пал на последний стали относительная дешевизна аппаратной части и полная информация о текущем времени в сигнале DCF77. Проблемы возникли при попытке дешифрации сигнала DCF77, но, в конце концов, они были решены.

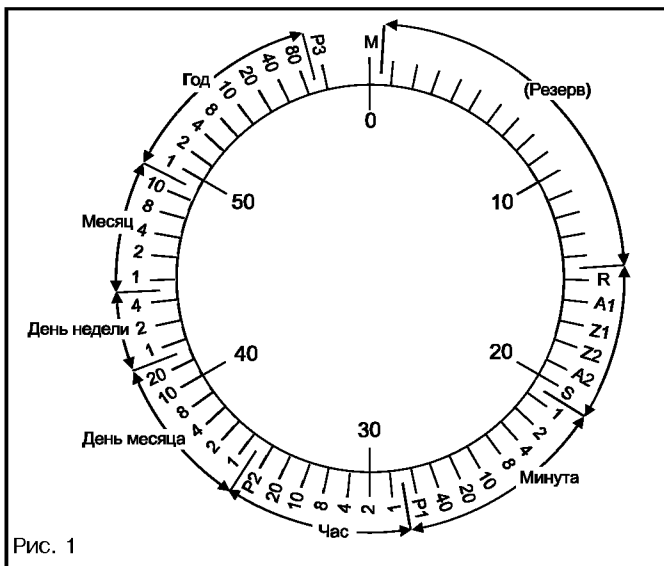


Рис. 1

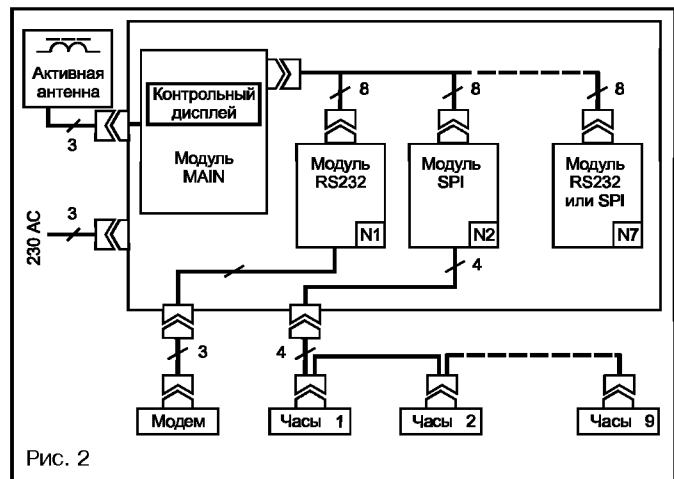


Рис. 2

Основным источником информации о текущем времени в часах стала микросхема DD2 (PCF8593) – интегральные часы реального времени с полным календарем и батарейным питанием. Специальными мерами удалось добиться погрешности хода часов PCF8593 не более 0,3 секунды в неделю. Один раз в сутки показания внутренних часов корректируются по сигналу DCF77. Информация о текущем времени во внутренних часах при выключении сетевого питания устройства сохраняется в течение нескольких месяцев.

Рассмотрим принцип дешифрации сигнала DCF77, применяемый в описываемом устройстве. Диаграмма импульсных сигналов показана на рис. 3. Дешифратор является составной частью модуля Main. В схему дешифратора входят микросхемы DD3 (CD4093 – K561ТЛ1), DD4 (74LS123 – K555АГ3) и DD5 (74LS74 – K555ТМ2). На вход дешифратора поступают импульсы длительностью 100 или 200 мс – сигналы передатчика DCF77, преобразованные внешней активной антенной BN641 146. Это описанные выше маркеры, передаваемые в эфир передатчиком DCF77.

Дешифрация сигнала DCF77 проходит в два этапа. Одновибратор на микросхеме DD4.1, обнаружив синхронизирующую паузу в пакете DCF77, вызывает процедуру прерывания микроконтроллера сигналом S\_S. Триггер на микросхеме DD5.1 формирует сигнал CON. Если сигнал CON имеет уровень логической единицы, происходит дешифрация сигнала DCF77; при уровне сигнала CON, равном логическому нулю, микроконтроллер накапливает принятые данные. Другими словами, первая минута – дешифрация, вторая – обработка, третья минута – дешифрация, четвертая – обработка и т. д. Параметры маркеров следующие: логический ноль – от 80 до 120 мс, логическая единица – больше 180 мс. Из этих условий выбран интервал, генерируемый одновибратором на микросхеме DD4.2, равный 150 мс. Принятый маркер запускает одновибратор на микросхеме DD4.2. По окончании времени выдержки одновибратора, значение маркера (0 или 1) защелкивается в триггере DD5.2 (сигнал D77). Одновременно сигнал S\_D генерирует вектор прерывания для микроконтроллера. Микроконтроллер считывает значение уровня сигнала на линии D77 и сохраняет значение маркера в памяти.

Хранение принятого пакета DCF77 осуществляет блок памяти из шести 8-битовых ячеек, организованных как 48-битовый регистр сдвига. Цикл считывания маркеров сигнала D77 повторяется до возникновения сигнала S\_S (обнаружение синхронизирующей паузы пакета DCF77). Сигнал S\_S генерирует вектор прерывания, вызывая подпрограмму обработки пакета DCF77. Начинается цикл обработки принятого сигнала DCF77. Сигнал CON формируют микросхемы DD4.1 и DD5.1, фиксирующие синхронизирующую паузу между маркерами 58 и M пакета DCF77. Светодиод VD4 (DCF\_Min) индицирует синхронизирующую паузу в пакете DCF77, а светодиод VD5 (DCF\_Sec) – маркеры, поступающие на вход дешифратора.

### Модуль Main

Продолжим обзор других элементов, входящих в схему модуля Main. Он собран на трех печатных платах блоков питания, управления и индикации. На рис. 4 показана схема блока управления и блока индикации. Микросхема DD2 (PCF8593) – внутренние часы модуля, информация с которых передается на дополнительные модули. Показания этих часов и корректируются по радиоканалу.

Алгоритм коррекции следующий. Один раз в сутки, в два часа ночи, снимается STP-сигнал запрета на дешифляцию. Ночью наблюдается наилучшее прохождение сигнала DCF77, хотя достаточно уверенный прием возможен и днем. Микроконтроллер, обрабатывая информацию, принятую из эфира, проверяет ее на достоверность. Как только информация засчитана достоверной, она переносится во внутренние часы модуля, и после этого процесс дешифрации блокируется сигналом STP. Повторное включение режима коррекции происходит через сутки.

На выводе INT микросхемы DD2 постоянно присутствуют импульсы с частотой 1 Гц, обеспечивая переключение транзистора VT5, который управляет свечением индикатора на светодиоде VD2 (PCF) и генерирует прерывание для микроконтроллера по входу NMI. Микроконтроллер, обрабатывая прерывание, считывает информацию о текущем времени в внутренних часах на микросхеме DD2 и, используя протокол SPI, передает

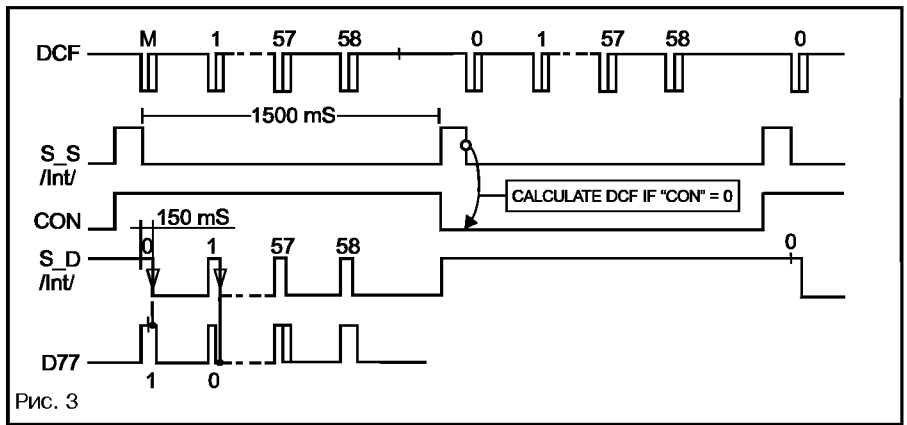


Рис. 3

эту информацию с использованием ключей на транзисторах VT1–VT4 на общую шину устройства.

Клавиатура и ЖК-дисплей установлены на отдельной печатной плате. Там же установлен ключ блокировки (Key\_Lock), предохраняющий систему от несанкционированного доступа к ручной корректровке показаний часов. ЖК-дисплей, примененный в модуле Main, – 2-строчный, по 16 символов в строке. Символ формируется в матрице 5x7, высота символа – 6 мм. Дисплей такого типа имеют встроенный знакогенератор. После записи информации во внутреннюю память дисплей (максимум 32 символа, включая пробелы) дальнейшим обслуживанием работы дисплея занимается встроенный в дисплей контроллер.

Ниже приведен фрагмент подпрограммы вывода на ЖК-дисплей двух цифр:

```
ldi a,0c0h ;адрес позиции цифры на дисплее
call wrcom ;записываем позицию
цифры на дисплее
;адрес первого символа первой строки – 80H
;адрес первого символа второй строки – C0H
;в аккумуляторе число в BCD коде, например 32H
ld w,a ;сохраняем аккумулятор в регистре
“w”
rlc a ;старшая цифра в младшую тетраду
rlc a
rlc a
rlc a
andi a,0fh ;маскируем старшую
тетраду
addi a,30h ;BCD->SIMB 03H + 30H =
33H(3)
call wrdat ;записываем в ЖКИ
старшую цифру
ld a,w ;восстанавливаем аккумулятор
andi a,0fh ;повторим для младшей
цифры
addi a,30h ;BCD->SIMB 02H + 30H =
32H(2)
call wrdat
ret
```

Может показаться странным использование 4-битовых операндов. Все дело в том, что ЖК-дисплеи этого типа могут работать как с 8-битовыми, так и с 4-битовыми данными. Применяя 4-битовые операнды, экономят 4 линии ввода/вывода микроконтроллера.

- Назначение выводов ЖК дисплея:
- 1 – минус питания (Gnd);
  - 2 – плюс питания (Uss, обычно +5 В);
  - 3 – напряжение смещения (U0, 0–0,8 В) для регулировки контрастности изображения;
  - 4 – RS: команда – логический ноль, данные – логическая единица;
  - 5 – R/W: чтение – логическая единица, запись – логический ноль;
  - 6 – EN: импульс положительной полярности, фиксирующий команду или данные;
  - 7–14 – D0–D7: двунаправленная шина данных ЖК дисплея.
- Линии A0–A2 и C1 микроконтроллера обслуживают клавиатуру. Каждая линия имеет свой вектор прерывания. Благодаря этому микроконтроллер обслуживает клавиатуру при реальном нажатии на клавишу, не совершая “пустых” опросов клавиатуры.

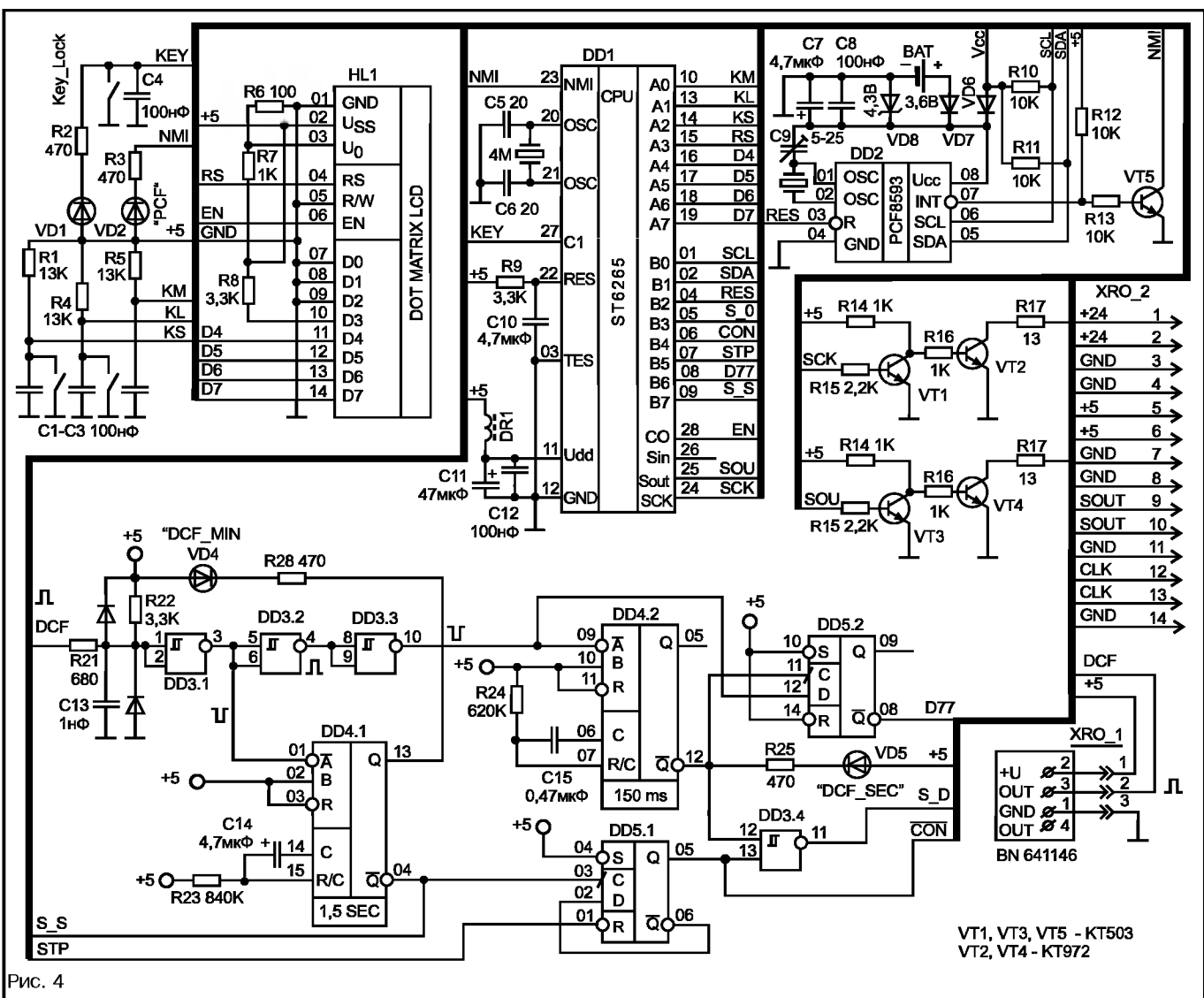


Рис. 4

При включении питания часы автоматически переходят в режим приема и дешифрации сигнала DCF77. На дисплее в 16 позиции первой строки высвечивается символ "F". Это означает, что в текущие сутки внутренние часы не были синхронизированы по сигналу DCF77. При достижении синхронизации, символ "F" заменяется символом "S", информация во внутренних часах корректируется в соответствии с принятой из радиоканала. Схема дешифрации сигнала DCF77 блокируется на сутки, на шину посылается информация о текущем времени от встроенных часов на микросхеме DD2. ЖКИ дисплей постоянно индицирует информацию о текущем времени: год, месяц, число, часы, минуты и секунды.

Разблокировав клавиатуру ключом Key\_Lock, оператор получает возможность скорректировать информацию о текущем времени клавишами Set (установить), Less (меньше) и More (больше). В режиме Set горит светодиод VD1, информация на ЖК-дисплее индицируется в мигающем режиме. Во время коррекции передача информации на дополнительные модули блокируется. После коррекции текущего времени и изъятия ключа Key\_Lock, автоматически включается режим дешифрации сигнала DCF77, т. е. снимается блокировка с дешифратора сигнала DCF77. При отключении сетевого питания устройства информация о текущем времени сохраняется во встроенных часах на микросхеме DD2. Благодаря питанию от батареи Bat, часы продолжают идти.

### Модуль SPI

На рис. 5 приведена схема модуля SPI. Основная функция модуля – принять информацию о текущем времени от модуля Main и передать необходимую информацию в линию, к которой подключены девять удаленных часов-индикаторов. Микроконтроллер ST62E65 имеет встроенный драйвер протокола SPI (синхронный последовательный интерфейс). Рассмотрим принцип работы протокола SPI. Временные диаграммы протокола SPI

показаны на рис. 6. Там же показана блок-схема драйвера SPI микроконтроллера ST62E65. Периферийное устройство SPI является синхронным последовательным интерфейсом с программируемыми режимами передачи и приема.

Линия SCK микроконтроллера – двунаправленная. Во время передачи информации (режим Master) она используется для передачи стробирующих импульсов, а во время приема информации (режим Slave) – принимает стробирующие импульсы. Линия SOut используется для передачи данных в режиме Master, а линия SIn принимает данные в режиме Slave. Из этого следует, что драйвер SPI микроконтроллера работает в полудуплексном режиме.

Фрагмент программы инициализации драйвера SPI в режиме Master (передача):

```

ini_spi ldi mux,01           ;режим передачи
ldi div,01000110b ;8 бит, 9600 Гц
ldi mod,00110001b
ret                          ;выход
; Подпрограмма передачи одного байта по протоколу SPI
Tr_SPI ldi rad,a             ;загрузка байта данных в регистр SPI
set 7,mod                    ;старт передачи
jrs 7,mod,$                  ;передача закончена?
call del1ms
ret                          ;выход

```

Данные, предназначенные для передачи, помещаются в регистр сдвига (RAD), откуда они выдвигаются сигналом SCK. Программа вводится в цикл ожидания. Как только последний бит будет передан, работа подпрограммы заканчивается. Для передачи следующего байта снова вызывается подпрограмма Tr\_SPI, обслуживающая процедуру передачи данных по протоколу SPI. Процедура приема данных несколько отличается от

передачи. Драйвер SPI программируется на генерацию прерывания при приеме байта. Подпрограмма I\_SPI\_S забирает байт из регистра RAD и устанавливает флаг в ячейке Stat0, сообщая основной программе, что драйвер SPI принял байт.

Фрагмент программы инициализации драйвера SPI в режиме Slave (прием):

```

I_SPI_S      ldi mux,00000000b      ;режим приема
             ldi div,01000110b ;8 бит, 9600 Гц
             ldi mod,11101001b     ;включить режим
прерывания при приеме байта
             ret                    ;выход
Обработка прерывания (драйвер SPI принял байт):
Int_SPI ldi save_s,a                ;сохранить аккумулятор
             ldi a,rad               ;забрать байт
             ldi period,a           ;сохранить принятый байт
             set 7,mod               ;восстановить режим
приема
             set 0,stat0            ;установить флаг приема
             ldi a,save_s           ;восстановить аккумулятор
             reti                   ;выход
    
```

Данные, стробируемые сигналом SCK, поступающим от передающего устройства, вдвигаются в регистр сдвига RAD. При заполнении регистра сдвига генерируется прерывание, вызывающее подпрограмму, обслуживающую прием данных. Максимальная скорость приема (передачи) составляет 153,6 Кбит в секунду. В описываемых часах используется скорость 9600 бит в секунду.

В связи с тем что модуль SPI должен работать и на прием информации и на передачу, применен коммутатор на микросхеме DD2. Переключением направления передачи информации управляют линии микроконтроллера A0 (Rd), A1 (Off) и A2 (Wr). Исходно микроконтроллер находится в режиме приема информации (разъем XR1). После приема блока информации о текущем времени микроконтроллер убирает из принятого пакета лишнюю информацию (год, месяц, число), переключает коммутатор на передачу и транслирует в линию (разъем XR2) информацию о часах, минутах и секундах для часов-индикаторов. Для передачи информации в линию используются ключи на транзисторах VT1–VT4. Одновременно светодиод VD2 индицирует передачу пакета в линию. После выполнения описанного цикла микроконтроллер переходит в режим приема, и цикл повторяется.

Виктор Заикин,  
victor.zaikin@mail.ee

Продолжение следует

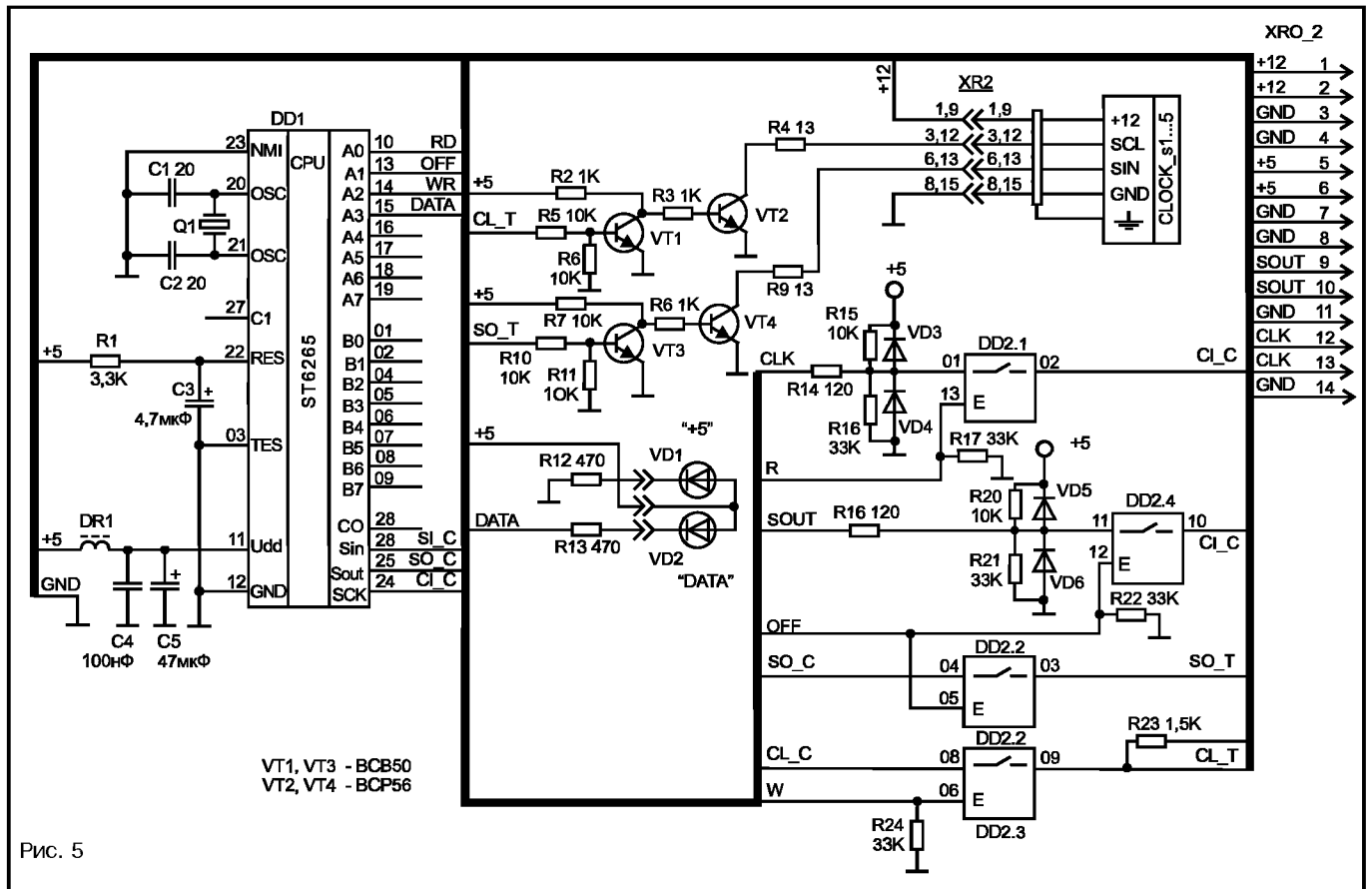


Рис. 5

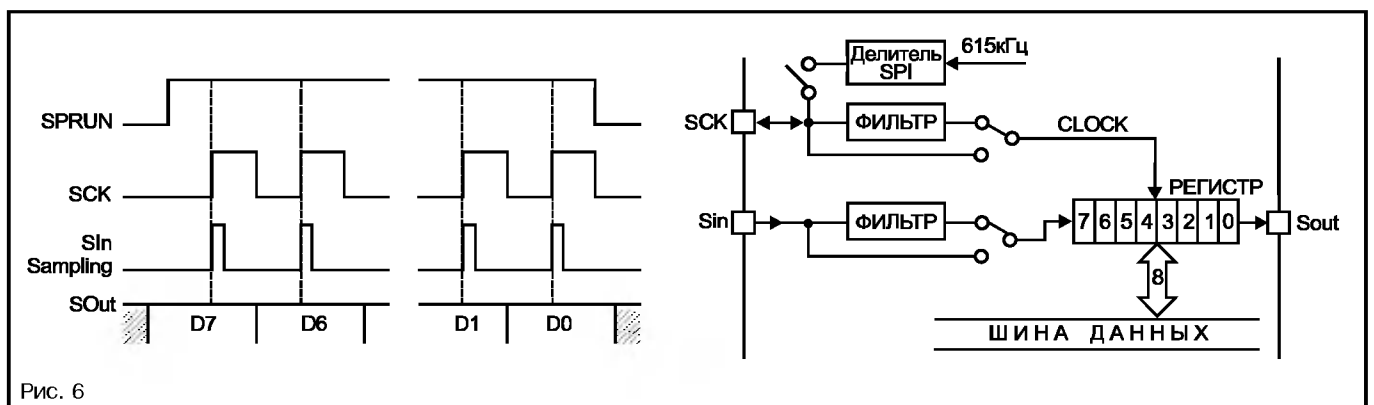


Рис. 6

# CAN-контроллер фирмы Microchip

*В сфере автоматизации производственных процессов сейчас происходят значительные перемены: пользователи постепенно отходят от практики применения закрытых архитектур и протоколов обмена собственной разработки, все больше ориентируясь на стандартные и открытые промышленные шины.*

Одним из видов промышленной шины, проверенной временем, является CAN (Controller Area Network). Популярность данного протокола доказывается тем, что все большее число фирм начали внедрять контроллеры CAN в свои изделия. Среди них Motorola, Philips, Infineon technologies, Microchip, ST Microelectronics и другие. В данной статье пойдет речь об автономном CAN-контроллере MCP2510, выпущенном недавно фирмой Microchip. Отличительные черты данного изделия – управление по последовательному SPI интерфейсу и, как следствие этого, корпус с малым числом выводов. Учитывая низкую стоимость этой микросхемы (порядка \$3,5), можно рекомендовать данное изделие для новых разрабо-

ток. Читателям, не знакомым с самим протоколом CAN, рекомендуется вначале обратиться к литературе [1–5].

## Основные возможности MCP2510

- Полная реализация CAN V2.0A и V2.0B при скорости 1 Мбит/с;
- длина сообщения до 8 байт;
- стандартный и расширенный фреймы;
- программируемая скорость передачи до 1 Мбит/с;
- поддержка удаленных фреймов;
- два буфера приема с приоритетным доступом;
- шесть фиксированных фильтров для приема сообщений;
- два фильтра-маски для приема сообщений;
- три буфера приема с функциями приоритетности и возможности прерывания передачи;
- петлевой режим для самотестирования.
- Аппаратные возможности:
  - высокоскоростной SPI интерфейс (5 МГц при напряжении питания 4,5 В);
  - поддержка режимов 0 и 3 SPI;
  - выход тактовой частоты с предварительным делителем;
  - выход прерывания с разрешением (маской) по разным источникам прерываний;
  - выводы “Буфер заполнен”, конфигурируемые как выходы прерывания либо как цифровые выходы общего назначения;
  - выводы “Запрос передачи”, конфигурируемые как входы, управляющие запросом на посылку сообщения

индивидуально для каждого буфера передачи, либо как цифровые входы общего назначения;

- режим пониженного энергопотребления (Sleep).
- Малопотребляющая КМОП-технология:
- рабочее напряжение питания 3...5,5 В;
- ток потребления в режиме Standby 10 мкА при напряжении питания 5,5 В.
- 18-выводной PDIP/SOIC и 20-выводной TSSOP корпуса.
- Температурный диапазон:
  - расширенный (E): –40°C... +125°C;
  - индустриальный (I): –40°C... +85°C.

## Описание

MCP2510 является автономным CAN-контроллером, разработанным с целью упростить приложения, требующие интер-

фейса с промышленной шиной CAN. Типичная реализация системы, использующей эту микросхему, приведена на рис. 1.

На рис. 2 представлена блок-схема данного устройства. В него входят следующие основные узлы:

- автомат CAN-протокола;
- логика управления и регистровое ОЗУ, используемые для конфигурации устройства и задания режимов его работы;
- блок SPI-протокола.

Автомат CAN-протокола обрабатывает все функции, связанные с приемом и передачей сообщений по шине. Для передачи сообщения требуется вначале загрузить соответствующие буферный и

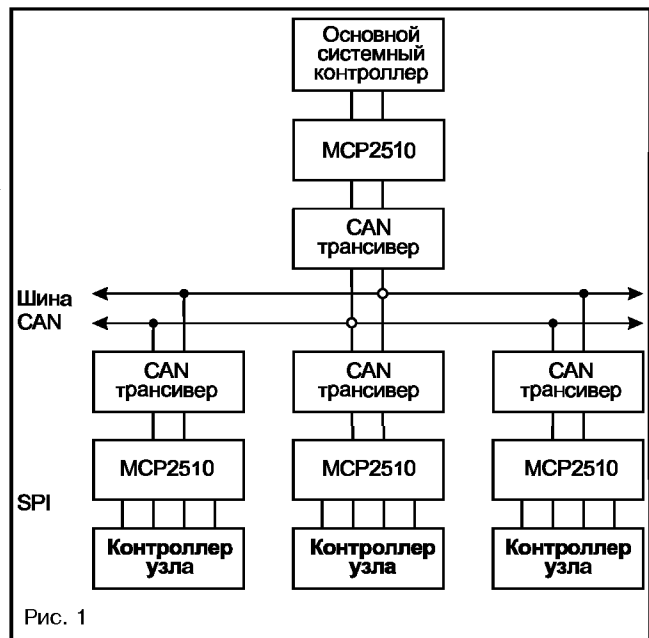


Рис. 1

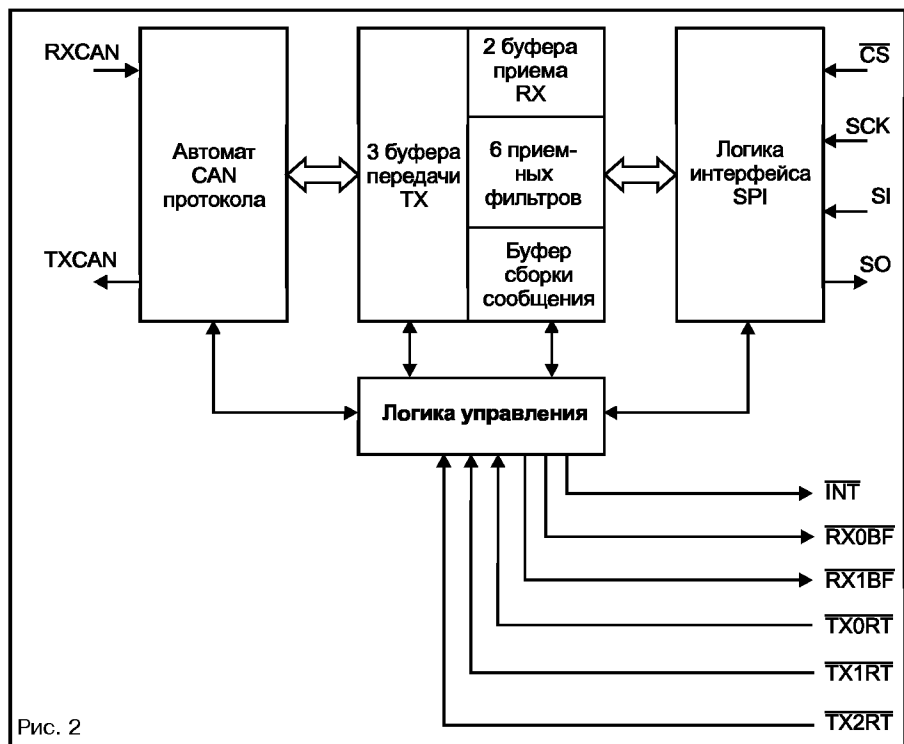


Рис. 2

состояния по SPI. В таблице 1 представлен полный список выводов CAN-контроллера.

### Буферы приема/передачи

MCP2510 имеет три передающих и два приемных буфера, два фильтра-маски (по одному на каждый буфер приема) и шесть фиксированных фильтров по приему сообщений. На рис. 3 изображены эти буферы и их связь с автоматом CAN-протокола.

### Автомат CAN-протокола (CAN Protocol Engine)

Автомат CAN-протокола объединяет несколько функциональных блоков, показанных на рис. 4. Эти блоки и их функции описываются ниже.

### Конечный автомат протокола (Protocol Finite State Machine)

Центральной частью (сердцем) автомата CAN-протокола является конечный автомат. Он производит обработку сообщений на побитовом уровне, изменяя свои состояния в соответствии с полями различных типов фреймов. Конечный автомат управляет последовательным потоком данных между сдвиговым регистром TX/RX, регистром контрольной суммы CRC и шиной. Он также управляет ло-

гикой обработки ошибок (EML) и параллельным потоком данных между сдвиговыми регистрами TX/RX и буферами. Реализация CAN в качестве конечного автомата гарантирует, что процессы приема, арбитража, передачи, сигнализации об ошибках осуществляются в точном соответствии с протоколом. Автоматическая повторная передача сообщений по шине также возлагается именно на него.

### Проверка контрольной суммы (Cyclic Redundancy Check)

Регистр контрольной суммы генерирует CRC-код, который передается либо после управляющего поля (при отсутствии данных в сообщении), либо после поля данных, а также используется при проверке поля контрольной суммы входящих сообщений.

### Логика управления ошибками (Error Management Logic)

Данный блок отвечает за ограничение неполадок CAN-устройства. Его два счетчика ошибок (приема – Receive Error Counter – и передачи – Transmit Error Counter) инкрементируются и декрементируются по командам процессора битового потока. В соответствии со значениями счетчиков ошибок CAN-контроллер будет на-

ходиться в следующих состояниях: ошибка активная, ошибка пассивная, отключен от шины.

### Логика бит-тайминга (Bit Timing Logic)

Данный блок контроллера постоянно отслеживает вход CAN-шины, осуществляет синхронизацию старта фрейма по перепаду с рецессивного уровня к доминантному (жесткая синхронизация) и синхронизируется по любому дальнейшему перепаду с рецессивного уровня к доминантному, если, конечно, сам CAN-контроллер не передает доминантный бит (ресинхронизация). Имеется возможность программировать временные сегменты, составляющие битовой промежуток, для компенсации задержки распространения сигнала и фазовых сдвигов. Также возможно программирование позиции (и количества) точек выборки значения бита внутри его битового промежутка.

В заключение хотелось бы отметить, что в рамках статьи не имеет смысла давать детальное описание регистров, вплоть до побитового уровня. Полное фирменное руководство занимает 76 страниц и заинтересованные читатели смогут ознакомиться с ним самостоятельно.

**Игорь Лапшин,**  
gkb\_luch@mail.ru

### Литература

1. Журнал “Современные технологии автоматизации” №4/98, с. 16.
2. Журнал “Современные технологии автоматизации” №3/99, с. 6.
3. Журнал “Инженерная микроэлектроника” №2/98, с. 35.
4. Журнал “Chip News” №5/99, с.